

Das

LICHT ALS KRAFT

und seine Wirkungen

auf Grund der heutigen naturwissenschaftlichen Anschauungen

für Mediciner dargestellt

von

Dr. **Fritz Frankenhäuser,**
Assistenten an der Königl. medicinischen Universitäts-Poliklinik zu Berlin.



Mit 8 Abbildungen im Text.

Berlin 1902.
Verlag von August Hirschwald.
NW. Unter den Linden 68.

Herrn

Sanitätsrath Dr. **Alfred Bechler,**

Bade-Arzt zu Bad Elster.

seinem verehrten Schwager

in Freundschaft

gewidmet

vom Verfasser.

21

Die Behandlung der einzelnen Abtheilungen musste sich den geäusserten Absichten unterordnen. Im physikalischen Theile war es nicht die eigentliche Optik, welche die interessirenden Gesetze enthält, sondern die Nebengebiete derselben, welche von den Beziehungen des Lichtes zu den anderen Kräften handeln. Im chemischen Theile galt es die gegenseitigen Beziehungen zwischen Licht und chemischer Energie darzustellen und durch Beispiele zu erläutern, die den Uebergang in das Gebiet der belebten Welt erleichtern. Der physiologische Theil musste hieran anknüpfen, und aus der Unmenge von Einzelbeobachtungen, welche die Literatur liefert, das heraussuchen, was nöthig war, um den Zusammenhang zwischen den verschiedenen physiologischen Wirkungen des Lichtes herzustellen, und zugleich einen Ausblick auf das therapeutische Gebiet zu gewähren. Der therapeutische Theil selbst schliesslich ist gewisserwassen nur als Anhang zu betrachten, bestimmt in kurzen Umrissen anzudeuten, was wir etwa auf diesem Gebiete für Ansprüche an das Licht stellen können. Denn Verfasser verhehlt sich durchaus nicht, das wir hier noch ganz im Anfange unserer Erfahrungen stehen, und er hat sich daher auch wohl gehütet in den Streit der Meinungen irgendwie direct einzugreifen.

Dem Ganzen lag das Bestreben nach Uebersichtlichkeit und Kürze zu Grunde. Für Diejenigen, welche einzelne Fragen eingehender verfolgen wollen, ist durch die Literaturangaben reichlich Gelegenheit dazu geboten worden.

Eine angenehme Pflicht ist es dem Verfasser, seinem hochverehrten Chef, Herrn Geheim-Rath Senator, seinen ergebensten Dank für das unermüdliche Interesse und die Förderung auszusprechen, welche er dieser Arbeit hat zu Theil werden lassen.

Berlin, October 1901.

Fritz Frankenhäuser.

Inhaltsübersicht.

I. Photophysik.

Erstes Kapitel.

Das Licht als Kraft, seine Stellung zu anderen Kräften (S. 1).

Zweites Kapitel.

Die Entstehung des Lichtes, seine physikalischen Eigenschaften und seine Umwandlung in andere Kräfte (S. 8).

Drittes Kapitel.

Die Beurtheilung der besonderen Eigenschaften verschiedener Lichtquellen und ihres Lichtes, Photometrie (S. 19).

II. Photochemie.

Viertes Kapitel.

Die chemische Energie. Ihre Beziehungen zu anderen Kräften (S. 28).

des Lichtes. Einfluss des Nährbodens und der Temperatur. 29. Einfluss des Lichtes auf die Bewegung und Wachthumsrichtung der höheren Pflanzen. Phototaxis. Schlafbewegungen (S. 40). Ihre Ursachen. Heliotropismus. Seine Ursache. Negativer Heliotropismus. Etiolement (S. 41). Wirksame Strahlen. 30. Einfluss des Lichtes auf die Assimilation der Pflanzen. Die chlorophyllhaltigen Pflanzen speichern durch Einwirkung des Lichtes Energie auf. Bildung der Kohlehydrate aus Kohlensäure. Dieser Vorgang bildet die Quelle der gesammten Energie der Lebewesen. Nahrung und Feuerung. Das Chlorophyll. Sein Spectrum. Seine Lichtempfindlichkeit (S. 42). Beziehungen der Assimilation zur Absorption des Lichtes. Wirksame Strahlen. Blumenfarbstoffe. Wirksame Strahlen. Verdunstung (S. 43). 31. Die Athmung der Pflanzen. Gegensatz zur Assimilation (S. 44).

Neuntes Kapitel.

Specielle Photophysiologie der Thiere (S. 44).

32. Die Eigenart thierischer Reactionen. Welche Strahlen absorbirt das Protoplasma und welche Wirkungen haben die absorbirten Strahlen? Concurrirende Reize. Directe und indirecte Wirkungen (S. 44). Mechanische und chemische Reactionen. 33. Phototaxis und Heliotropismus der Thiere. Analogie zu den Erscheinungen bei Pflanzen und zu anderen Erscheinungen bei Thieren. Galvanotropismus. Verhalten zum Sauerstoffbedürfniss, zur Temperatur, zur Concentration des Seewassers. Wirkung von Helligkeitsschwankungen (S. 45). Der Lichtsinn der Haut. Farbensinn derselben. Hautsinn geblendeter Thiere. Der Einfluss auf sehende Thiere. 34. Der Einfluss des Lichtes auf elementare thierische Gebilde und Gruppen von solchen. Steigerung der Kohlensäureproduction des Gewebes. Quincke's Nachweis des gesteigerten Reductionsvermögens der belichteten Zellen (S. 46). Die Reduction von Bismutum subnitricum. Die Reduction von Oxyhämoglobin als photochemischer Process. Vermehrte Energieentwickelung. Einfluss auf Eier und Embryonen (S. 47). Einfluss des Lichtes auf einzelne Organe und ihre Theile. Gesteigerter Stoffwechsel der Muskeln, des Rückenmarkes. Erhöhte Leistungen. Einfluss des Lichtes auf den gesammten Organismus und seine Theile. Transparenz des Organismus. Specifische Absorption der Organe. 35. Die Haut. Haar- und Hornbildung vom Lichte beeinflusst. Characteristische Reaction der Haut auf den Lichtreiz (S. 48). Pigmentbildung aus Blutfarbstoff. Anpassung und Schutz der Haut durch diesen Vorgang. Finsen's Experiment. Wirksame Strahlen. Photodermatische Empfindung (S. 49). Pigmentflecke. Mechanismus photodermatischer Reflexe bei der Bohrmuschel. Chromatophoren, pigmentirte direct lichtempfindliche Muskelzellen. Verlust der Ultraviolett-Empfindung bei höheren Thieren. 36. Das Auge. Seine Entwicklung aus Pigmentzellen der Haut. Mechanische Reactionen in der Retina, auch von der Haut aus auslösbar (S. 50). Chemische Wirkungen. Ultraviolett und Ultraroth. 37. Das Blut. Die Circulation. Das characteristische Spectrum, auch für Ultraviolett. Funktionen des Blutes. Einfluss des Lichtes auf dieselben und auf die Bildung des Hämoglobins. 38. Die inneren Organe. Transparenz des Körpers (S. 51). Specifisches Absorptionsvermögen verschiedener Substanzen. Sonnenstich. 38. Fortgeleitete Wirkungen des Lichtes. Reflectorische Vorgänge, vom Auge ausgelöst. Einfluss des Auges auf den Stoffwechsel. Auf den Fettansatz. Auf die Lebensdauer hungernder Thiere. Einfluss der Haut auf den Stoffwechsel. Reflexe von der Haut ausgelöst. Die Rolle psychischer Vorgänge (S. 52).

IV. Phototherapie.

 Die eingeklammerten Zahlen im Texte beziehen sich auf das Literaturverzeichniss.

I. Photophysik.

Erstes Kapitel.

Das Licht als Kraft; seine Stellung zu anderen Kräften.

1. Das Licht. Das Licht ist die Ursache der Sichtbarkeit der Gegenstände. Es kommt uns also unmittelbar zum Bewusstsein als Sinneseindruck des Auges. In dieser Eigenschaft ist uns das Licht von ungeheurem Werthe für unsere Erkenntniss der Aussenwelt. Der Wirkungskreis des Gesichtssinnes ist unendlich viel grösser als der aller anderen Sinne. Während Gefühl, Geschmack, Geruch und Gehör uns nur über unsere nähere Umgebung Nachrichten bringen, dringen Lichtstrahlen durch den Aether aus fernen Welten zu uns und ermöglichen es uns, dortige Verhältnisse und Vorgänge zu beobachten, deren Zeit oft schon Jahrhunderte zurückliegt. Aber noch viel wichtiger ist uns das Licht zur Kenntniss der Zustände und Vorgänge unserer näheren Umgebung, von denen uns der Gesichtssinn das eigentliche Bild giebt.

2. Das Licht als Kraft. Bei diesen Beobachtungen kommt es uns jedoch kaum zum Bewusstsein, dass das Licht eine Kraft ist, deren Wirksamkeit sich durchaus nicht darauf beschränkt, unserem Auge Sinneseindrücke zu vermitteln. Die Kraft des Lichtes ist aber, wie alle Kräfte, befähigt, in der Materie, der belebten wie der unbelebten, direct Veränderungen hervorzubringen. Und diese Kraftleistungen des Lichtes sind nicht etwa unbedeutend. Die ganze Pflanzenwelt ist aus Lichtenergie erschaffen (vergl. 8. Kapitel). Von der in der Pflanzenwelt aufgespeicherten Energie wird das Thierreich (Nahrungsmittel) und werden unsere Kraft- und Wärmequellen (Feuerung) gespeist. Eine immer steigende Bedeutung für unser tägliches Leben gewinnen andere Leistungen des Lichtes: die photographischen Phänomene. Dass uns trotzdem das Licht so wenig als Kraft imponirt, mag grösstentheils daran liegen, dass es viel seltener zu gewaltsamen Vorgängen Anlass giebt wie etwa die mechanische Kraft, die Electricität, die Wärme. Und doch bietet das Licht vollkommene Analogien zu den anderen Kräften.

3. Das System der Kräfte und die Stellung des Lichtes in demselben. Die verschiedenen Erscheinungsformen der Energie können wir in folgenden Klassen zusammenfassen:

1. Mechanische Energie,
   a) einfache,
   b) undulirende, vibrirende,

2. electrische und magnetische Energie,
3. Wärmeenergie,
4. Lichtenergie,
5. chemische Energie.

Die Beziehungen, welche die vier ersten Klassen zu einander und zur Materie haben, behandelt die Physik unter den Kapiteln: Mechanik, Electricitätslehre, Wärmelehre, Optik. Die Beziehungen, welche die chemische Energie zur Materie hat, behandelt die Chemie. Die Beziehungen endlich, welche die chemische Energie zu den anderen Formen der Energie hat, wurden lange vernachlässigt, beginnen aber jetzt mehr und mehr, ihre Bedeutung geltend zu machen. Sie sind Gegenstand der Physikalischen Chemie. Diese ist, besonders in ihren Unterabtheilungen: Electrochemie, Thermochemie und Photochemie, von ganz besonderer Bedeutung für eine wissenschaftliche Auffassung der physikalischen Heilmethoden.

4. Die Materie in ihren Beziehungen zu den Kräften. Aller Materie sind gewisse Eigenschaften gemeinsam. Die Materie vermag:

1. Kräfte in sich aufzunehmen (zu absorbiren),
2. solche absorbirte Kräfte an die Nachbarmaterie weiterzugeben (zu leiten),
3. solche absorbirte Kräfte in andere gleichwerthige Kräfte umzuwandeln.

Diese Vorgänge beobachten wir als Veränderungen, welche die Kräfte am Zustande der Materie erzeugen. Es gehört zu den allgemeinen Eigenschaften der Materie, sich unter dem Einflusse der Kräfte zu verändern und ihrerseits die Qualität der Kräfte zu verändern.

Die speciellen charakteristischen Eigenschaften der verschiedenen Substanzen beruhen darauf, dass sie sich verschieden verhalten in Bezug auf die Absorption, Leitung und Umwandlung der verschiedenen Kräfte. Aus diesem verschiedenen Verhalten zur mechanischen, electrischen und chemischen Energie, zu Licht und Wärme ergeben sich die Merkmale, an denen wir die verschiedenen Substanzen erkennen, und von einander unterscheiden, so der Aggregatzustand, das Gewicht, die Farbe, die chemische Reaction, das Leitungsvermögen für Electricität, Wärme u. s. w.

In Bezug auf das Licht ergiebt sich z. B., dass wir eine Substanz, die alles Licht absorbirt, „schwarz“ nennen, eine Substanz, die alles Licht zurückwirft, „weiss“, eine Substanz, die alles Licht gleichmässig durchtreten lässt, „farblos durchsichtig“, eine Substanz, die nur einzelne Lichtarten absorbirt, „farbig“.

5. Der Aether, seine Beziehungen zu den Kräften und zur Materie. (1. 2. 3. 4.) Während die Materie durch ihr soeben geschildertes Verhalten zu den Kräften sehr gut characterisirt ist, sind unsere Kenntnisse über den Aether viel geringer, so dass wir uns zur Zeit nicht einmal eine concrete Vorstellung von demselben machen können. Sein Vorhandensein äussert sich in folgenden Beobachtungen.

1. Der Aether vermag Electricität, Wärme, Licht geradlinig durch

den sogenannten „leeren Raum“ fortzupflanzen mit einer Geschwindigkeit von 300 000 km in der Sekunde (Strahlung), und zwar durch transversale, wellenförmige Schwingungen mit einer für die einzelnen Kräfte characteristischen Länge und Schwingungsdauer der Wellen (Strahlende Electricität, strahlende Wärme, Licht).

2. Der Aether vermag auch innerhalb der Materie diese Kräfte fortzupflanzen. Die Art der Materie beeinflusst die Richtung, Geschwindigkeit und Energie der Strahlung.

Wir schliessen daraus, dass der Aether überall vorhanden ist, im sogenannten „leeren Raum“ sowohl, als in der Materie. Da, wo der Aether mit der Materie in Berührung ist, vermag er die Energie seiner electrischen, thermischen und optischen Schwingungen ganz oder theilweise auf die Materie zu übertragen und diese hierdurch in Mitschwingung zu versetzen. Hierauf beruht die Absorption dieser Kräfte durch die Materie.

Umgekehrt vermag die Materie die ihr innewohnende molekulare Energie (Electricität, Wärme, Licht) an den Aether abzugeben und diesen hierdurch in electrische, thermische, optische Schwingungen zu versetzen. Man sagt dann: Die Materie erregt Strahlung. Ueberall, wo die Materie Strahlung erregt, muss sie Kraft abgeben; überall, wo sie Strahlung absorbirt, muss sie entsprechende Kraft aufnehmen. Kraft kann nicht verloren gehen und kann auch nicht aus Nichts entstehen (Gesetz von der Erhaltung der Kraft). (5. 6.)

Der Aether ist im Stande, electrische, thermische und optische Wellen von beliebiger Länge und Schwingungsdauer fortzupflanzen. Die verschiedenen Substanzen dagegen sind je nach ihrer Eigenart zu manchen Schwingungen befähigt, zu anderen nicht. Diejenigen Schwingungen, zu welchen sie befähigt sind, vermögen sie sowohl zu absorbiren, als auch selbst auszustrahlen (Kirchhoff'sches Gesetz) (7). Man kann diesen Vorgang mit einem akustischen vergleichen: Wenn verschiedenartige Schallwellen auf ein System von Saiten wirken, so absorbirt jede Saite solche Wellen, welche ihrem eigenen Schwingungsverhältnisse entsprechen, und schwingt mit. Die anderen Schwingungen gehen wirkungslos vorüber (8).

6. Die Eigenarten der verschiedenen strahlenden Kräfte. Die Verschiedenheit der strahlenden Electricität, der strahlenden Wärme und des Lichtes beruht auf der verschiedenen Länge und Schwingungsdauer ihrer Wellen. In Folge dieser Verschiedenheit werden diese Wellen von den einzelnen Stoffen verschieden absorbirt, geleitet und umgesetzt. Das heisst: Ihre Wirkungen auf die Materie sind verschieden.

Es umfasst aber jeder dieser Begriffe: Electricität, Wärme, Licht nicht etwa nur Eine Qualität von Wellen, sondern eine Reihenfolge vieler, verschieden langer Wellen, deren Wirkungen auch wieder unter einander verschieden sind. Die Wellen der strahlenden Electricität sind in ihren Maassen von den anderen Wellen wesentlich verschieden. Dagegen werden wir sehen, dass die Complexe der Wärme und Licht-

wellen derartig wenig scharf von einander abgegrenzt sind, dass es weder möglich ist, sie von einander noch von anderen verwandten Strahlen zu trennen.

7. Die strahlende Electricität (9). Auf der electrischen Strahlung beruhen diejenigen Erscheinungen, welche man als Fernwirkungen der Electricität bezeichnet. Hertz hat nachgewiesen, dass bei der electrischen Ladung eines Conductors Aetherwellen entstehen. Diese haben im Vergleich zu den sonst bekannten Aetherwellen eine sehr grosse Länge.

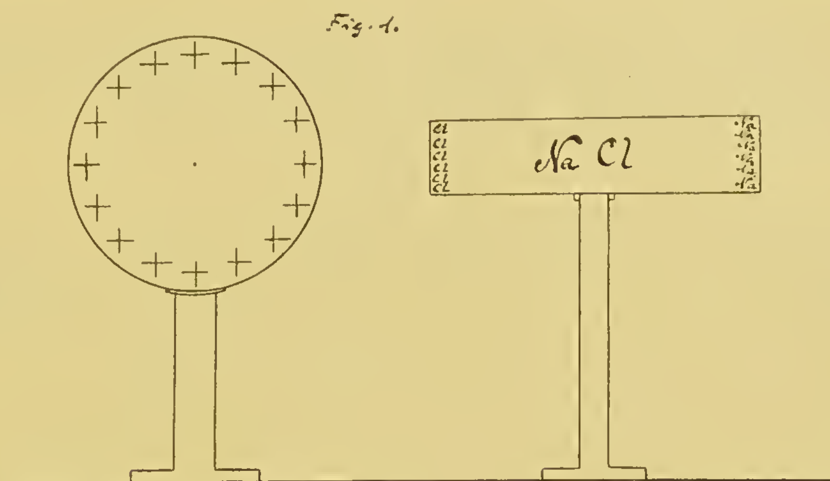
Millimeter Wellenlänge

5000,0 bis 75,0	gemessene electrische Wellen		
—			
—			
—			
—	unbekannte Gebiete		
—			
—			
—			
„	0,008070 äusserstes Ultraroth	Continuirliches Spectrum.	
„	0,000683 Roth		
	bis		
„	0,000330 Violettt		
„	0,000100 äusserstes Ultraviolett.		

Sie folgen aber im Uebrigen denselben Gesetzen, wie diese (s. u. Brechung, Reflexion u. s. w.). Sie sind auch im Stande an Körper ihre Energie abzugeben (absorbirt zu werden) und diese Körper dadurch in Mitschwingungen zu versetzen. Und zwar sind das dieselben Körper, welche auch im Stande sind, ihrerseits derartige electrische Wellen auszusenden (vergl. das Kirchhoff'sche Gesetz). Es sind dies die Leiter der Electricität (Metalle und electrolytische Lösungen). Andere Körper sind nicht im Stande die electrischen Schwingungen in wesentlicher Menge aufzunehmen und mitzuschwingen. Sie verhalten sich gegen diese passiv, und lassen daher die electrische Strahlung unbehindert durch, während die Leiter einen „Schatten“ in der Strahlung verursachen. Diese Körper nennt man daher Dielectrica; es sind die Nichtleiter der Electricität.

Die absorbirenden Körper (die electrischen Leiter) lassen sich in zwei Klassen eintheilen: die Metalle oder Leiter 1. Klasse und die feuchten Leiter oder Leiter 2. Klasse. Die molecularen Angriffspunkte der Electricität in den Leitern 1. Klasse kennen wir nicht, wohl aber die in den Leitern 2. Klasse. Es sind dies die electrisch geladenen Moleküle der in dem feuchten Leiter befindlichen Säuren, Salze und Basen, die Ionen. Wir wissen, dass ein electrisch geladener Körper (Inductor) auf einen in der Nähe befindlichen feuchten Leiter in der Weise wirkt, dass er die Ionen dieses Leiters dislocirt. Ein positiv geladener Inductor z. B. zieht die Anionen des inducirten Leiters an

und stösst die Kationen ab. In Folge dessen findet auf der dem Inductor zugewandten Seite des feuchten Leiters eine Ansammlung von Anionen (z. B. Cl), auf der den Inductor abgewandten Seite eine Ansammlung von Kationen (z. B. Na) statt (s. Fig. 1). Der Grad dieser Wirkung ist der Stärke der



Schema der Wirkung eines positiv geladenen Inductors mit einer NaCl-Lösung. Na-Ionen werden abgestossen, Cl-Ionen angezogen.

Ladung des Inductors direct, seiner Entfernung von dem feuchten Leiter indirect proportional. Jede electrische Schwankung im Inductor hat daher auch Schwankungen in der Vertheilung der Ionen im inducirten Leiter zur Folge. Hierbei wird Arbeit geleistet. Und die Energie dieser Arbeit liefern eben die absorbirten electrischen Wellen. Wir haben also hier ein ziemlich klares Bild vom Verlaufe und der Wirkung der Absorption.

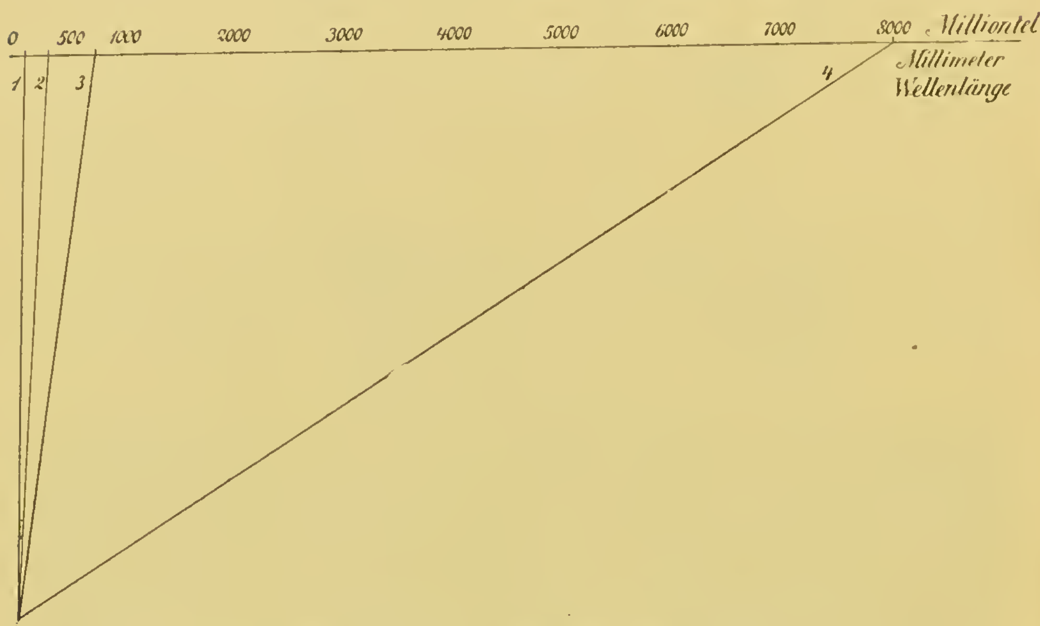
Diejenigen Flüssigkeiten, welche keine electrisch geladenen Moleküle (Ionen) besitzen, bieten der Strahlung diese Angriffspunkte zur Arbeitsleistung nicht und lassen sie ungeschwächt hindurchgehen. Sie sind dielectrisch.

8. Die Wärme- und Lichtstrahlung zeigt ganz ähnliche Verhältnisse wie die electrische Strahlung. Die Begriffe „Wärme“ und „Licht“ sind eigentlich keine physikalischen, sondern physiologische. Wärme nennen wir die Kraft, welche auf unsere Gefühlsnerven als spezifischer Reiz des Wärmegefühles wirkt; Licht nennen wir die Kraft, welche auf unsere Sehnerven als spezifischer Reiz des Gesichtssinnes wirkt. Physikalisch können wir zwar solche Kräfte, welche Wärmegefühl und solche, welche Gesichtseindrücke hervorrufen, analysiren; es ist aber unmöglich, auf Grund rein physikalischer Anhaltspunkte einen Complex von Kräften als „Wärme“ von einem anderen als „Licht“ scharf zu trennen. Wärme und Licht bilden eine ununterbrochene Reihe von Strahlen verschiedener Wellenlängen (10). Die äussersten Grenzen dieser Reihe sind nach beiden Seiten hin noch nicht festgestellt. Die längsten zur Zeit bekannten Wellen derselben haben etwa

(11) eine Länge von 8070 $\mu\mu$ (Milliontel Millimeter), die kürzesten von weniger als 100 $\mu\mu$ (s. Fig. 2). Die Strahlen von etwa 683 $\mu\mu$ (äusserstes Roth) bis 330 $\mu\mu$ (äusserstes Violett) Wellenlänge sind unmittelbar sichtbar; diese sind also die eigentlichen Lichtstrahlen. Orange hat etwa 615 $\mu\mu$, Gelb 559, Grün 512, Blau 450 (vergl. Tabelle S. 7). (S. Fig. 3.)

Die Strahlen mit grösserer Wellenlänge nennen wir ultrarothe (oder infrarothe), die mit geringerer Wellenlänge ultraviolette Strahlen. Sie sind nicht unmittelbar sichtbar. Die Wärmestrahlen sind identisch sowohl mit ultrarothen als auch mit leuchtenden Strahlen.

Figur 2.



Schema des gesammten bekannten normalen Spectrums.

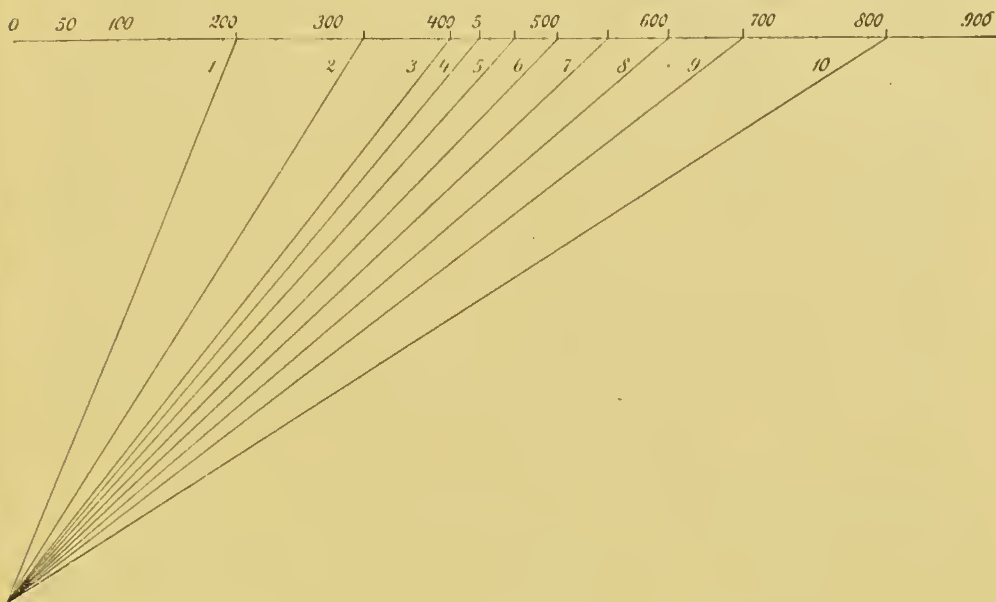
		Wellenlänge $\mu\mu$ (Milliontel mm)
1	Kürzeste von Schumann unter Anwendung von Flussspathprisma, Vacuumcamera u. Bromsilbersplatte ohne Gelatine photographirte Welle	100
2	Kürzeste sichtbare Welle nach Soret	330
3	Längste, ausnahmsweise sichtbare Welle nach Helmholtz	812
4	Längste Welle, gemessen von Snow mit Flussspathprisma und Bolometer	8070

Nirgends ist eine scharfe objective Grenze zwischen diesen Strahlen gezogen. Der Unterschied in der Wellenlänge und Schwingungsdauer ist der einzige Unterschied, den sie zeigen (12). Hierauf allein beruht auch ihre verschiedene Wirkung auf die Substanzen. Denn die einzelnen Substanzen verhalten sich gegenüber verschiedenen Wellenlängen

verschieden. Die Einen lassen sie durchgehen, die Anderen absorbiren sie, um sie in verschiedene andere Energieformen umzusetzen.

Es ist daher unmöglich, wenn die Wirkungen des Lichtes besprochen werden, die verwandten Strahlen zu umgehen. Wenn trotz-

Figur 3.



Schema der Farbenzerstreuung im normalen sichtbaren Spectrum.

1	Kürzeste von einem Menschenauge gesehene Welle	= 210 μμ
2	Kürzeste sichtbare Welle	= 330 „
3	Violett.	= 410 „
4	Ultramarin	= 439 „
5	Cyanblau	= 473 „
6	Grün	= 512 „
7	Gelb	= 559 „
8	Orange	= 615 „
9	Roth	= 683 „
10	Längste, ausnahmsweise sichtbare Welle . . .	= 812 „

dem im Folgenden die Wärmestrahlen mehr in den Hintergrund treten, so geschieht es nur aus dem practischen Bedürfniss, das grosse Gebiet einzutheilen. Das wichtige Gebiet der Wärmestrahlung soll in seiner Beziehung zur Medicin in einer späteren Abhandlung besprochen werden.

Zweites Kapitel.

Die Entstehung des Lichtes, seine physikalischen Eigenschaften und seine Umwandlung in andere Kräfte.

9. Die Entstehung des Lichtes. Eine Substanz ist selbstleuchtend, d. h. sie lässt Licht entstehen, wenn sie aus der ihr innewohnenden Energie dem Aether Tranversalwellen von der Länge von 683—330 $\mu\mu$ mittheilt. Die Energie hierzu entnimmt sie anderen Kräften, die sie bindet (absorbirt). Bei der Entstehung des Lichtes, also der Umsetzung anderer Kräfte in Licht, kann man zwei Haupttypen unterscheiden, je nachdem die Wärme eine grössere oder geringere Rolle als Energiequelle spielt. Man spricht von kaltem Lichte, wo die leuchtende Materie eine niedere, von Glühlicht, wo sie eine hohe Temperatur (Gluthhitze) besitzt.

Beim kalten Lichte (Luminescenz) unterscheiden wir je nach der hauptsächlich wirksamen Kraft:

1. Chemiluminescenz, wenn die chemische Energie die Kraftquelle abgiebt, wie beim Leuchten feuchten Holzes, mancher Bakterien und Thiere.

2. Triboluminescenz, wenn Reibung die Kraftquelle abgiebt, wie beim Leuchten des Zuckers beim Reiben.

3. Krystalloluminescenz, wenn das Leuchten beim Krystallisiren einer Substanz eintritt.

4. Electroluminescenz, wenn die electrische Energie die Kraftquelle abgiebt, wie in den Geissler'schen Röhren.

5. Photoluminescenz, wenn Licht anderer Wellenlänge die Kraftquelle abgiebt, wie z. B. beim Nachleuchten von Baryum-Platincyanür (Phosphorescenz) und dem als Fluorescenz bekannten Farbenspiele mancher Stoffe, wie z. B. des Chinins. Fluorescenz dauert nur so lange, wie die auslösende Belichtung, Phosphorescenz überdauert diese.

6. Thermoluminescenz endlich nennt man solches Licht, das zwar die Wärme als Kraftquelle hat, aber schon bei weit unter der Gluthhitze liegende Temperaturen entsteht, wie z. B. das Licht, das Flussspath bei leichtem Erwärmen aussendet.

Das Glühlicht entsteht im Gegensatze zur Luminescenz nur bei hohen Temperaturen. Wenn wir einem Körper mehr Wärme zuführen, als er abzugeben vermag, so steigt seine Temperatur. — Warme Körper geben Wärmestrahlen von sich, und zwar besitzt für jeden Grad der Temperatur eine andere Wellenlänge das Maximum der Emission (13). Diese Wellenlänge scheint dabei stets umgekehrt proportional der absoluten Temperatur des strahlenden Körpers zu sein. Man kann daher, wenn ein Körper zunächst nur unsichtbare (dunkle) Wärmestrahlen ausgestrahlt hat, durch fortgesetzte Wärmezufuhr die Entstehung immer kleinerer Wellen hervorrufen.

Bei einer Temperatur von 525° C. fangen die Körper an, ausser dunkeln Wärmestrahlen auch solche auszusenden, welche eine geringere Wellenlänge als 683 $\mu\mu$ haben, d. h. sie beginnen Licht auszustrahlen,

zu glühen (14). Zunächst strahlen sie nur Licht von grösster Wellenlänge aus (Rothgluth), bei steigender Temperatur gesellen sich hierzu immer mehr kürzere Wellen (Gelbgluth), schliesslich sind alle Lichtstrahlen vertreten (Weissgluth) und je höher die Temperatur weiter steigt, desto mehr betheiligen sich Strahlen immer geringerer Wellenlänge (Ultraviolett) an der Emission.

10. Die physikalischen Eigenschaften des Lichtes. Es wurde schon erwähnt, dass das Licht sich im Aether geradlinig mit einer Geschwindigkeit von 300 000 km in der Sekunde ausbreitet (15). (Nachgewiesen durch Olaf Roemer 1675).

Die Gesammtheit der nach allen Richtungen erfolgenden Ausbreitung des Lichtes einer Lichtquelle nennen wir Lichtstrahlung; die längs einer geraden Linie erfolgende Ausbreitung nennen wir einen Lichtstrahl. Die Strahlung einer Lichtquelle ist also = der Summe ihrer Lichtstrahlen.

Die einzelnen Lichtstrahlen unterscheiden sich von einander nach Qualität und Quantität. Die meisten Lichtstrahlen sind ein Gemisch der verschiedensten Wellenlängen (Farben). Die Farbe der Strahlen, welche unser Auge wahrnimmt, ist das Product der einzelnen Farben-Componenten (Polychromatie). Ein und dieselbe Farbe kann sich aus ganz verschiedenen Componenten zusammensetzen. Das Auge allein vermag nicht darüber zu entscheiden.

Es giebt aber auch Strahlen, welche nur Wellen ein und derselben Länge (Farbe) enthalten (monochromatisches oder homogenes Licht). So sendet das glühende Natrium ein rein gelbes Licht aus, welches nicht weiter in Componenten zerlegt werden kann.

Die meisten Lichtstrahlen, gleichgültig ob polychromatisch oder monochromatisch, enthalten Wellen, welche nicht nur in einer, sondern in allen Ebenen transversal zur Strahlenrichtung schwingen, so dass ein Durchschnitt der Strahlen nicht eine gerade Linie, sondern eine Kreisfläche darstellen würde. Manche Körper jedoch senden in glühendem Zustande Licht aus, deren Wellen nur in einer Richtung senkrecht zur Strahlenrichtung schwingen (16) (Kalkspath). Auch sind manche Vorrichtungen im Stande (Nicol'sches Prisma, Polarisationsapparate) aus natürlichem Lichte solches Licht herzustellen. Wir nennen solches Licht polarisirtes Licht.

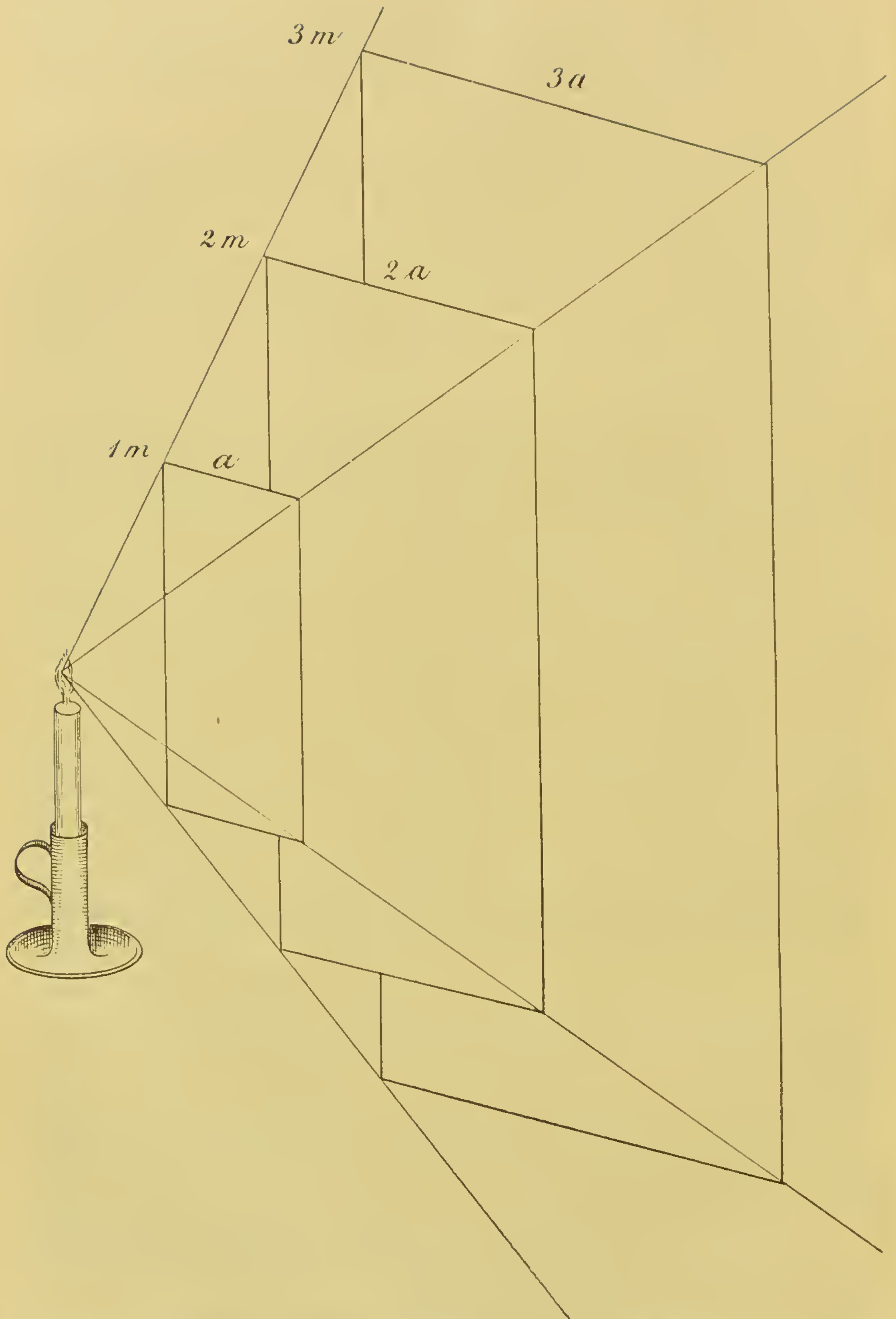
Stellen wir uns einen monochromatischen polarisirten Strahl vor, so haben wir eines der Individuen vor uns, aus denen sich jede Strahlung zusammensetzt und von deren Zahl und Art der Charakter der Strahlung allein abhängt.

Ein monochromatischer, vollkommen polarisirter Strahl ist ein Strahl von bestimmter einheitlicher Wellenlänge und bestimmter einheitlicher Schwingungsebene. Seine Intensität ist gleich dem Quadrate seiner Wellenhöhe (Amplitude).

Die Intensität eines polychromatischen polarisirten Strahles ist gleich der Summe der Intensitäten aller monochromatischen polarisirten Strahlen, welche diesen zusammensetzen.

Die Intensität eines nicht polarisirten Strahles ist gleich der Summe der Intensitäten aller polarisirten Strahlen, welche diesen zusammensetzen.

Figur 4.



Schema der Vertheilung des Lichtes bei 1, 2 u. 3 m Entfernung. Dieselbe Lichtmenge vertheilt sich auf Flächen von a^2, $(2a)^2$ und $(3a)^2$.

Die Intensität der Strahlung ist gleich der Summe aller Strahlen, welche diese zusammensetzen.

Hieraus ergiebt sich das Gesetz: Die Intensität der Beleuchtung ist umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung der Lichtquelle.

Denn dieselbe Menge von Strahlen, welche in der Entfernung von 1 m von der Lichtquelle die Fläche a^2 bestrahlt, vertheilt sich in der Entfernung von 2 m auf eine Fläche von der Grösse $(2a)^2 = 4a^2$, bei einer Entfernung von 3 m auf einer Fläche von der Grösse $(3a)^2 = 9a^2$ u. s. f. wie eine einfache geometrische Betrachtung leicht ergiebt (siehe Fig. 4).

11. Veränderungen der Geschwindigkeit und der Richtung des Lichtes durch die Materie. Während die Lichtstrahlen auf ihrem Wege durch den luftleeren Raum keine erkennbaren Veränderungen erleiden, sind sie da, wo sie Materie durchsetzen, Veränderungen unterworfen, welche ihre Geschwindigkeit, ihre Richtung, ihre Intensität und ihre Zusammensetzung beeinflussen. Nur von theoretischem Interesse ist für uns die Verlangsamung der Fortpflanzung, welche die Lichtstrahlen in der Materie erfahren.

Practisches Interesse haben aber die Richtungsänderungen, welche die Materie veranlasst. Diese Richtungsänderungen können entweder die Axe der Strahlen betreffen (Brechung) oder sie können senkrecht zu dieser wirken (Drehung).

Die Brechung giebt zu folgenden wichtigen Erscheinungen Anlass:

a) Reflexion (Rückstrahlung). Die auf die Oberfläche eines Körpers auffallenden Lichtstrahlen werden, soweit sie von dem Körper nicht verschluckt oder durchgelassen werden, von diesem Körper zurückgeworfen, etwa wie ein Billardball von den elastischen Banden. Der zurückgeworfene (reflectirte) Strahl liegt in der Ebene, welche der einfallende Strahl und das Einfallsloth (eine Linie, die an der Einfallsstelle senkrecht zur Oberfläche der reflectirenden Körper gedacht ist) mit einander bilden. Der Reflexionswinkel ist gleich dem Einfallswinkel. Bei Körpern, welche die Strahlen bestimmter Wellenlängen verschlucken (farbige Körper) wird die Zusammensetzung des Lichtes bei der Reflexion verändert. Daher stammen alle Farbwirkungen, welche die nicht selbst leuchtenden Gegenstände auf unser Auge im auffallenden Lichte ausüben (farbige Reflexion).

Einen Körper, der alle Lichtstrahlen gleichmässig und stark reflectirt, nennen wir weiss; einen Körper, der alle Lichtstrahlen äusserst wenig reflectirt, schwarz; einen Körper, der nur rothe Strahlen reflectirt, roth u. s. f.

Unter gewissen Umständen wird nur das in Einer Ebene schwingende Licht reflectirt. Der reflectirte Strahl ist dann polarisirt (Polarisation durch Reflexion s. o.).

Ist die Oberfläche der reflectirenden Körper rauh, so sind die Einfalls- und Reflexionswinkel an den einzelnen Stellen ganz verschieden und die reflectirten Strahlen werden aus ihrer Richtung regellos herausgeworfen, und zerstreut (Unregelmässige Reflexion. Trübes Licht). Ist jedoch die Oberfläche des reflectirenden Körpers glatt (spiegelnd), so behalten die reflectirten Strahlen die Reihenfolge

der einfallenden und geben daher ein für das Auge sichtbares Bild des leuchtenden Körpers (Regelmässige Reflexion, Spiegelung). Ist die Oberfläche des reflectirenden Körpers zwar spiegelnd, aber nicht eben, sondern etwa kugel-, ei-, kegelförmig, so entstehen diejenigen regelmässigen Ablenkungen (Concentration, Zerstreuung, Kreuzung) der Lichtstrahlen zu einander, welche bei Brennspiegeln, Reflectoren u. s. w. ihre practische Verwerthung finden.

Wo bei der Reflexion sich einfallende und reflectirte Strahlen auf derselben Linie begegnen, können sich, ganz ähnlich wie das auch bei den Wasser- und Luftwellen stattfindet, ihre Wellen bald gegenseitig verstärken, bald gegenseitig vernichten, je nachdem sie in gleicher Phase (Berg auf Berg, Thal auf Thal) oder in ungleicher Phase aufeinander treffen (Interferenz. Fresnel's Spiegelversuch). (17.)

b) Refraction (Brechung). Diejenigen auf die Oberfläche eines Körpers einfallenden Lichtstrahlen, welche weder auf der Oberfläche reflectirt, noch im Innern des Körpers absorbirt (s. u.) werden, durchsetzen den Körper geradlinig. An der Stelle ihres Eintrittes in das neue Medium werden sie aber, falls sie nicht senkrecht einfallen, von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt (gebrochen). Der gebrochene Strahl liegt in der Ebene, welche der einfallende Strahl und das Einfallsloth miteinander bilden. Der Brechungswinkel (welchen der gebrochene Strahl mit dem Einfallsloth bildet) kann grösser oder kleiner sein als der Einfallswinkel (welchen der einfallende Strahl mit dem Einfallsloth bildet). Das hängt von den Eigenschaften des Mediums ab, aus welchem das Licht kommt und in welches es übergeht. Wird beim Uebergang von Licht aus einem Medium in ein anderes der Brechungswinkel kleiner als der Einfallswinkel, so nennen wir das erste Medium das optisch dünnere, schwächer lichtbrechende, das zweite Medium das optisch dichtere, stärker lichtbrechende, und umgekehrt.

Ist die Oberfläche des Körpers, in welchen Lichtstrahlen eindringen, rauh, so sind Einfalls- und Brechungswinkel an den einzelnen Stellen ganz verschieden, und die gebrochenen Strahlen werden aus ihrer parallelen Richtung regellos herausgeworfen (Unregelmässige Brechung. Trübe durchscheinende Medien). Ist jedoch die Oberfläche der brechenden Körper glatt, so behalten die gebrochenen Strahlen die Reihenfolge der einfallenden und geben daher ein für das Auge sichtbares Bild des leuchtenden Körpers (klar durchsichtige Körper).

Ist der brechende, durchsichtige Körper eine von zwei parallelen Ebenen begrenzte Platte (etwa Glas) und auf beiden Seiten von demselben Medium (etwa Luft) umgeben, so ist die Richtung aller austretenden Strahlung der der eintretenden parallel, die Brechung wiederholt sich im umgekehrten Verhältnisse wie beim Eintritt der Strahlen auch bei ihrem Austritt. Ist der brechende Körper ein von zwei nicht parallelen Ebenen begrenzter Keil (ein Prisma), so erhalten alle austretenden gleichartigen Strahlen eine gleichmässige Ablenkung. Sind die Flächen des brechenden Körpers zwar glatt, aber nicht eben, sondern etwa kugelförmig, so entstehen diejenigen regelmässigen Ablenkungen (Concentration, Zerstreuung, Kreuzung) der austretenden Lichtstrahlen zu einander, welche bei den optischen Linsen ihre practische Verwerthung finden.

Eine besondere Abart der Brechung zeigen diejenigen Krystalle, welche nicht den regulären Systemen angehören. Sie zerlegen die einfallenden Strahlen in zwei Strahlen mit verschiedenen Brechungswinkeln. Die Strahlen sind polarisirt (Polarisation durch Doppelbrechung).

d) Dispersion (Farbenzerstreuung). Wir haben soeben gesagt, dass durch ein Prisma alle gleichartigen austretenden Strahlen eine gleichmässige Ablenkung erhalten: Die hervorgehobene Einschränkung hat ihre Ursache in einer für alle Lichtforschung höchst wichtigen Eigenthümlichkeit der Lichtbrechung: Es werden nämlich die Lichtstrahlen desto stärker abgelenkt, je kleiner ihre Wellenlänge ist. Diese Regel gilt auch für die unsichtbaren, ultrarothen und ultravioletten Strahlen. Wenn man das Bild einer linienförmigen, monochromatischen, homogenen Lichtquelle durch ein Prisma, dessen Kanten parallel zur Lichtquelle stehen, projicirt, so erhält man ein linienförmiges, deutliches Bild der Lichtquelle. Wenn man aber ebenso das Bild einer weissen, polychromatischen Lichtquelle projicirt, so erhält man durchaus kein deutliches, linienförmiges Bild der Lichtquelle, sondern statt dessen ein breites Band, welches die Regenbogenfarben, roth, orange, gelb, grün, blau, violett, mit allen Abstufungen ohne Weiteres erkennen lässt (Spectrum). Anschliessend an das Roth lässt sich das Gebiet des Ultraroth, anschliessend an das Violett das Gebiet des Ultraviolett mit gewissen Hilfsmitteln nachweisen, z. B. durch Fluorescenzschirm, durch die photographische Platte. (18.)

Diese Erscheinung ist deshalb von so grosser practischer Bedeutung, weil sie es uns ermöglicht, die Zusammensetzung der verschiedenen Strahlungen, die Eigenschaften der verschiedenen Strahlen, den Einfluss, welchen die verschiedenen Substanzen auf das Licht bei der Reflexion und Absorption üben, zu analysiren (Spectralapparate, Spectralanalyse). (18. 19.)

Die Spectralanalyse hat zu einem der grossartigsten Erfolge des menschlichen Geistes geführt: der von Kirchhoff entdeckten Möglichkeit, die chemischen Bestandtheile der Sonne und anderer Himmelskörper zu analysiren.

Eine eigenartige Anomalie sei hier erwähnt. Es giebt Stoffe, welche polychromatische Strahlen nicht in der Reihenfolge der Regenbogenfarben zerlegen; so fand Christiansen, dass Anilinroth in Weingeist Violett am wenigsten, Gelb am meisten, Roth dazwischen ablenkt. (Anomale Dispersion.) (20.)

e) Diffraction (Beugung) des Lichtes. (21.) Lässt man Lichtstrahlen auf eine sehr enge Spalte fallen, so hören sie auf, jenseits dieser Spalte ihren Weg in derselben Richtung fortzusetzen. Vielmehr wird jenseits der Spalte jeder enge Strahl in einen weiten Strahlenkegel verwandelt. Der Winkel, welchen die nunmehr divergirenden Strahlen miteinander bilden, ist desto grösser, je enger die Spalte ist, er kann 180 ° und mehr erreichen. Das Licht wird in der Spalte gebeugt. Fängt man die gebeugten Strahlen auf einem Schirm auf, so beobachtet man, wenn monochromatisches Licht verwendet wurde, Interferenz-Erscheinungen: abwechselnde schwarze und helle Striche, deren Abstand von einander von der Wellenlänge des verwendeten Lichtes abhängt. Man kann aus dieser Erscheinung die Wellenlänge der verschiedenen Farben berechnen.

Verwendet man polychromatisches Licht, so entstehen ausserdem Farbenerscheinungen, da der Beugungswinkel für die verschiedenen Farben verschiedene Werthe hat. Er ist desto grösser, je grösser die Wellenlänge.

Man benutzt auch dieses Phänomen zur Herstellung von Spectren (Beugungsspectren), indem man das Licht durch ein ausserordentlich feines Gitter hindurchtreten lässt und dann auf einem Schirme auffängt oder durch ein Ocular beobachtet (Gitterspectrum). (22.) Prisma und Gitter zerlegen also das Licht in Spectren. Aber sie unterscheiden sich wesentlich von einander. Beim Prisma wird von den sichtbaren Strahlen roth am wenigsten abgelenkt, beim Gitter am meisten. Der Hauptunterschied beruht aber in der verschiedenen Art der Dispersion. Beim Prisma wächst die Ablenkung umgekehrt proportional dem Quadrate der Wellenlänge, beim Gitter proportional der Wellenlänge. Daraus folgt, dass beim Prisma die langen Wellen sehr stark zusammengedrängt sind, während das Gitterspectrum eine ganz gleichmässige Vertheilung der Strahlen im Spectrum vornimmt. Die Abstände der Linien sind proportional der Differenz der Wellenlänge. Man nennt deshalb auch das Gitterspectrum normales Spectrum. Dazu kommt noch, dass Prismen viele Strahlen verschlucken, Glasprismen z. B. Ultraviolett; das lässt sich beim Gitter ganz vermeiden. Das Gitterspectrum hat also viele Vorzüge.

Neben den bisher besprochenen Ablenkungen, welche die Materie auf die Axe der Lichtstrahlen ausübt (Reflexion, Refraction, Dispersion, Diffraction), kommt noch eine andere Ablenkung in Betracht, welche die Axe unberührt lässt:

Die Drehung (Torsion) der Lichtstrahlen um ihre Axe. Manche Substanzen (23.), z. B. Traubenzucker, besitzen die Eigenschaft, die Lichtstrahlen, welche sie durchsetzen, um ihre Axe zu drehen. Da gewöhnliche Lichtstrahlen in allen Ebenen transversal zu ihrer Axe schwingen, ist es unmöglich, dies Phänomen bei ihnen zu beobachten. Wohl aber kann man bei polarisirten Strahlen, welche nur in einer Ebene um ihre Axe schwingen, feststellen, dass sich diese Ebene im Verlaufe des Durchganges der Strahlen verdreht. Diese Drehung ist proportional dem specifischen Drehungsvermögen und der Menge der drehenden Substanz. Die verschiedenen Farbencomponenten eines polarisirten Strahles nehmen an der Drehung verschiedenen Antheil, ihre Schwingungsebenen trennen sich daher (Dispersion durch Drehung). Das specifische Drehungsvermögen, sowie die Richtung, in welcher die Strahlen gedreht werden, ist für die Substanzen verschieden (links- und rechtsdrehende Substanzen). Man benutzt diese Eigenschaften, um den Gehalt mancher Flüssigkeiten (z. B. Urin) an drehenden Substanzen (z. B. Traubenzucker) zu bestimmen.

Eine Drehung des polarisirten Lichtes kann aber durch alle durchsichtigen Körper erzeugt werden, wenn man eine Säule derselben entweder zwischen die Pole eines Magneten bringt oder vermittelst einer Drahtspirale von einem electrischen Strome durchkreisen lässt. Die Ablenkung ist desto grösser, je länger die durchstrahlte Schicht, je stärker die magnetische oder electrische Kraft und je kleiner die Wellenlänge der Lichtstrahlen ist.

12. Die Absorption des Lichtes durch die Materie. Von grösserem Interesse noch als die Ablenkungen, welche die Lichtstrahlen durch die Materie erleiden, ist die Einbusse an Energie, welche die Materie ihnen entzieht. Wir haben gesehen, dass derjenige Theil der Strahlung, welcher beim Einfall auf einen Körper nicht reflectirt wird, in das Körperinnere eintritt. Was aus diesen eingetretenen Strahlen wird, hängt von der Durchlässigkeit des Körpers ab. (24.) Sie können zum Theil den Körper wieder verlassen, zum Theil werden sie von dem Körper absorbirt und in andere Kräfte umgesetzt. Kein Körper ist vollständig durchlässig, aber auch keiner vollständig undurchlässig für das Licht. Die Unterschiede in der Durchlässigkeit verschiedener Substanzen sind jedoch so gross, dass man practisch sehr wohl durchsichtige (diaphane) und undurchsichtige (adiaphane) Körper unterscheiden kann. Bei allen Körpern aber ist der Verlust an Licht desto grösser, je grössere Mengen der Materie das Licht zu durchsetzen hat.

Relativ adiaphane Stoffe sind nur in dünnster Schicht durchsichtig. Sie können jedoch in Schichten, welche gar kein Licht mehr durchlassen, sehr wohl durchgängig sein für ultrarothe oder ultraviolette Strahlen. So sind die Metalle nur in ganz dünnen Schichten durchlässig. Ebonit ist für Licht sehr wenig, für Ultraroth sehr stark durchlässig. (25.)

Die relativ diaphanen Stoffe sind auch in verhältnissmässig dicken Schichten durchlässig für Lichtstrahlen. Sie können aber sehr wohl für ultrarothe und ultraviolette Strahlen undurchlässig sein. So ist z. B. Glas für Ultraviolett, Alaun-Lösung für Ultraroth undurchlässig. (26.)

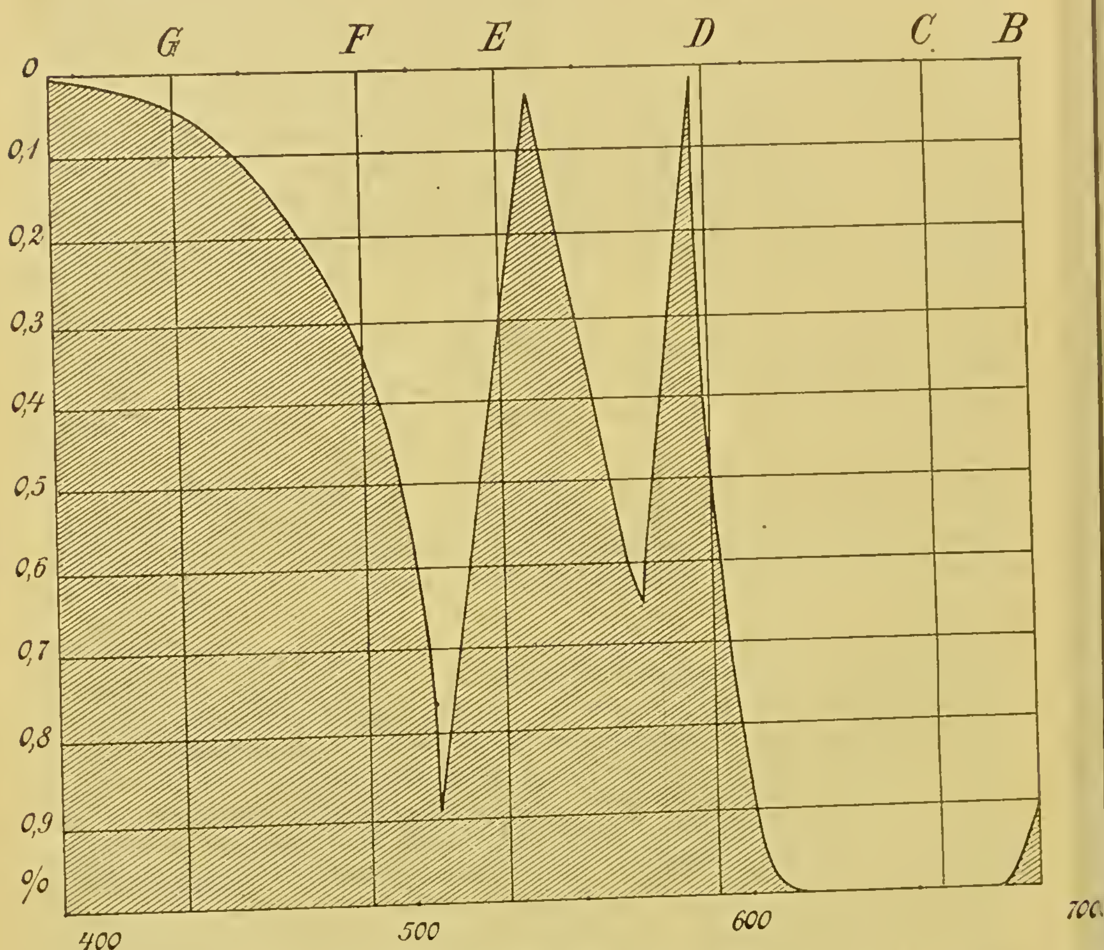
Gleichmässig diaphane (farblos durchsichtige) Stoffe zeigen für alle Lichtstrahlen grosse Durchlässigkeit. Das durchsichtigste Medium ist nächst dem „leeren Raume“ die Luft. Sie absorbirt aber stark Ultraviolett (27.); Wasser dagegen absorbirt sehr stark Ultraroth. (28.)

Poikilodiaphane (farbig-durchsichtige) Stoffe zeigen für die Lichtstrahlen verschiedener Wellenlänge verschiedene Absorption. Die Farbe, welche sie uns zeigen, ist die resultirende der nicht absorbirten Lichtstrahlen. Während das Auge nur die resultirende Farbe wahrnimmt, also nur einen sehr unvollkommenen Begriff von der Qualität des Lichtes giebt, vermögen wir durch spectrale Zerlegung des durchstrahlenden Lichtes dieses nach Quantität und Qualität auf seine Componenten zurück zu führen. Das Spectrum solchen Lichtes (Absorptionsspectrum) zeigt nämlich gegenüber dem continuirlichen Spectrum dunkele Stellen (Absorptionsstreifen, Schatten) in einzelnen Farbengebieten; auch in dem Gebiete der Ultrastrahlen zeigen sich analoge Erscheinungen. Diese Absorptionsspectren sind so ausserordentlich charakteristisch für viele Substanzen (29), dass sie sehr geeignet sind, solche Substanzen durch die Spectralanalyse zu unterscheiden, wie z. B. die verschiedenen Abarten des Hämoglobins.

Man unterscheidet bei den Absorptionsspectren solche mit einseitiger Absorption, wenn ein Ende des Spectrums absorbirt wird. Diese kann sich sowohl auf Ultraroth als auch auf Ultraviolett beziehen; letzteres ist z. B. bei Glas der Fall, ersteres bei Alaun. Zweiseitige

Absorption tritt auf, wenn beide Enden des Spectrums absorbirt werden. Hierher gehören die gefärbten Medien, welche nur einfarbiges Licht durchlassen, z. B. die Metalle in dünnster Schicht. Von Absorptionslinien, Streifen, Banden und Schatten spricht man, je nach dem sich inmitten des Spectrums linienförmige oder breite, scharf oder weniger scharf begrenzte Absorptionsgebiete befinden. Je stärker die Concentration und je dicker die Schicht des absorbirenden Körpers ist, desto mehr erstreckt sich die Absorption nach dem nicht absorbirten Gebiete (siehe Fig. 5 u. 6).

Figur 5.

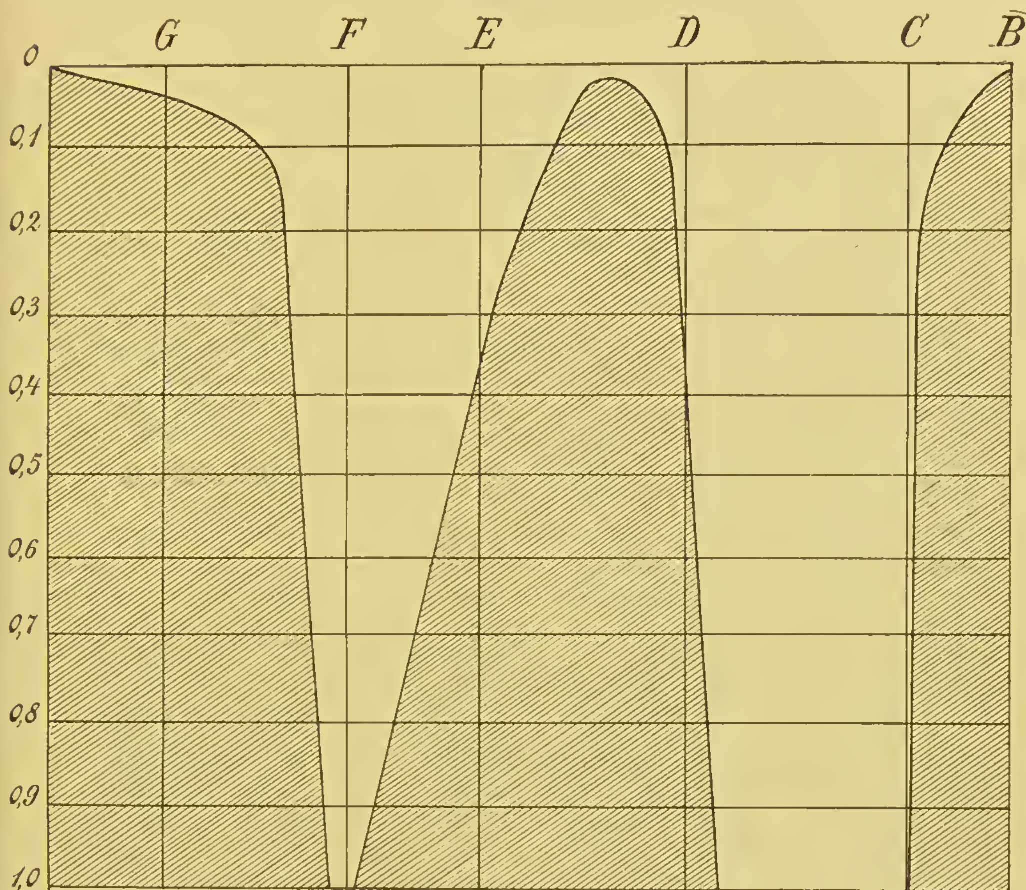


Absorption einer 1 cm dicken Schicht von Oxyhämoglobin bei 0,1—1,0 pCt. Gehalt in Wasser.

Nach dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft kann die Energie des von der Materie absorbirten Lichtes nicht verloren gehen, sonder muss in der Materie gleichwerthige Mengen anderer Energieformen entwickeln. Mit anderen Worten: Alle Stoffe, welche Licht absorbiren, erleiden dadurch eine Veränderung ihres Zustandes; sie reagiren auch

auf das Licht. Anderseits können aber — ebenfalls nach dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft — nur solche Lichtstrahlen wirksam sein, welche absorbirt werden. Dem entsprechend sind Lichtstrahlen, welche bereits eine genügende Menge einer Substanz passirt haben, um diejenigen Componenten abzugeben, welche die Substanz absorbirt, auf weitere Mengen der Substanz unwirksam (Erschöpfung der Strahlen).

Figur 6.



Absorption einer 1 cm dicken Schicht von reducirtem Hämoglobin bei 0,1 bis 1,0 pCt. Gehalt in Wasser.

13. Die Umwandelung des Lichtes in andere Energieformen. In welche Energieform ein absorbirter Lichtstrahl umgesetzt wird, lässt sich nicht theoretisch voraussagen, sondern nur durch das Experiment entscheiden. Es hängt nicht von der Art der Lichtstrahlen allein, sondern vielmehr noch von der Art der absorbirenden Substanz ab. Lichtstrahlen ein und derselben Wellenlänge können in verschiedenen Substanzen in verschiedene Energieformen übergeführt werden. In ein und derselben Substanz können Lichtstrahlen verschiedener Wellenlänge in verschiedene Energieformen übergeführt

werden. Das ist sogar die Regel. Und wahrscheinlich können sogar in derselben Substanz Strahlen derselben Wellenlänge in verschiedene Energieformen übergeführt werden (30).

Bei Weitem am häufigsten wird Wärme aus den absorbirten Lichtstrahlen gebildet. Diese kann ihrerseits sich weiter in andere Energieformen umsetzen, oder sie wird als Wärmestrahlung, also mit grösserer Wellenlänge wieder ausgestrahlt. Erwärmung begleitet auch die anderen Wirkungen des Lichtes. Von den Strahlen einer Leuchtgasflamme, welche in Chlorknallgas absorbirt werden, dienen z. B. zwei Drittel zur Erwärmung des Gases, ein Drittel zur Vereinigung des Wasserstoffes mit dem Chlor.

Ferner kann das Licht umgesetzt werden in Licht anderer Wellenlänge, das dann wieder ausgestrahlt wird; dies führt zu den Erscheinungen der Fluorescenz und Phosphorescenz.

Auch mechanische Arbeit kann das Licht leisten. So dehnt es Kautschuk aus (31) und bewirkt (hier sind besonders die ultrarothen Strahlen wirksam) die Drehung der sogenannten Lichtmühle (32).

Auf die Bildung electrischer Energie aus Licht (33) sei hier etwas näher eingegangen, erstens, weil wir darin ein Mittel zur Messung der Lichtenergie besitzen, und zweitens, weil der Vorgang ganz ausserordentlich geeignet ist uns ein greifbares Bild von derartigen Umsetzungen überhaupt zu geben. E. Becquerel construirte einen Apparat (Becquerel's Actinometer), ähnlich einem electrischen Elemente, welcher zwei ganz gleiche Silberplatten besitzt, die mit Jod-, Chlor- oder Bromsilber überzogen sind und in angesäuertes Wasser tauchen. Dieselben stehen mit einem empfindlichen Galvanometer in Verbindung. Analoge Apparate sind von Anderen construirt worden. Grove benutzte Platin in Schwefelsäure, Gouy und Rigollot geglühtes Kupfer in Chlor-, Brom- oder Jodnatrium. Lässt man Licht auf die eine Platte fallen, während die andere beschattet bleibt, so entsteht alsbald ein Strom, dessen Intensität am Galvanometer abgelesen werden kann. Die entwickelte electromotorische Kraft geht bis fast auf 0,1 Volt im Sonnenlichte. Ihre Entstehung erklärt sich folgendermaassen (Ostwald). Das Jodsilber, mit welchem Becquerel's Platten überzogen sind, wird unter dem Einflusse des Lichtes weniger beständig; es spaltet sich, indem Silberionen ihre Ladung verlieren und als metallisches Silber sich an der belichteten Electrode anlegen, während Jodionen in die Lösung treten, und an der anderen Electrode eine entsprechende Anzahl von negativen Ionen verschwindet, oder von positiven Ionen entsteht.

Dementsprechend wirkt, wie schon Becquerel betont hat, die belichtete Electrode als Kathode, die unbelichtete als Anode. Auf ähnliche Dissociationen ist es wahrscheinlich zurückzuführen, dass Selen, und dass Silbersalze, welche bezeichnender Weise schon im trockenen Zustande electrisch leitend sind, im Lichte besser leiten als im Dunkeln. Da die Leitung in Nicht-Metallen den Ionen über lassen ist, so muss man wohl annehmen, dass das Silbersalz bei Belichtung Ionen bildet, d. h. sich theilweise dissociirt.

Diese Vorgänge geben uns ganz directe Anknüpfungspunkte an einen Umwandlungsvorgang, welcher uns vor Allem interessirt: die

Umwandlung des Lichtes in chemische Energie. Diese Vorgänge behandelt die Photochemie, welcher einige besondere Kapitel gewidmet sein werden.

Drittes Kapitel.

Die Beurtheilung der besonderen Eigenschaften verschiedener Lichtquellen und ihres Lichtes. Photometrie.

14. Ueber Messmethoden. Das Licht, welches verschiedene Lichtquellen aussenden, ist nach Quantität und Qualität sehr verschieden; und das Licht ein und derselben Lichtquelle erleidet auf seinem Wege mannigfache Veränderungen. Um aber die Rolle beurtheilen zu können, welche bei einem gegebenen Vorgange das Licht spielt, müssen wir über die Eigenschaften des in Frage kommenden Lichtes genau unterrichtet sein.

Da stellt sich in erster Linie das Bedürfniss heraus, ein Maass zu finden, vermittelst dessen wir die Energie einer Lichtstrahlung mit der Energie einer anderen Lichtstrahlung sowohl, als auch mit der Energie anderer Kräfte vergleichen können.

Man misst Kräfte an der Arbeit, die sie leisten. Als Einheit der Arbeit nimmt man eine mechanische Kraftleistung, das Meter-Kilogramm, d. h. diejenige Arbeit, welche nöthig ist, um entgegen der Schwerkraft 1 kg einen Meter hoch zu heben. Indem man nun vergleicht, wieviel Meter-Kilogramm irgend eine Kraftmenge leistet, wenn sie in mechanische Kraft umgesetzt wird, bekommt man das mechanische Aequivalent dieser Kraft. So ist z. B. diejenige Wärmemenge, welche nöthig ist, um 1 kg Wasser von 0^0 auf 1^0 C. zu erwärmen, die Einheit für die Wärme gleich 1 grosse Kalorie. Dieselbe Wärmemenge ist im Stande, wenn sie in mechanische Energie umgesetzt wird, 1 kg 424 m hoch zu heben. Umgekehrt sind 424 Kilogrammmeter nöthig, um die Wärmemenge zu liefern, welche 1 kg Wasser von 0^0 auf 1^0 C. erwärmt. Daher ist das mechanische Wärmeäquivalent = 424 Meter-Kilogramm.

Eine derartige Messung der Energie des Lichtes ist aber zur Zeit nicht möglich, und zwar deshalb, weil man nicht alle Bestandtheile einer Strahlung in ein und dieselbe andere Energie überführen kann. Je nachdem man versucht, das Licht in chemische, thermische, electrische oder mechanische Energie überzuführen, bekommt man ganz verschiedene Resultate, welche nicht die Energie des Lichtes selbst, sondern die Empfindlichkeit der angewandten Apparate für das betreffende Licht zur Grundlage haben. Dies muss man sich bei der Beurtheilung photometrischer Resultate klar machen. Sie dürfen nicht verallgemeinert werden, sondern sind immer nur gültig für ein und dieselbe Strahlung und ein und denselben Messapparat.

Eine Reihe von Methoden beschränkt sich auf die quantitative Messung einer Strahlung, also auf die Messung ihrer Intensität (Hellig-

keit). Diese Messungen fallen, wie aus dem vorher Gesagten verständlich, verschieden aus, je nachdem man die Helligkeit einer Lichtquelle durch dieses oder jenes Mittel bestimmt. Man spricht daher auch von verschiedenen Arten der Helligkeit ein und derelben Lichtquelle. So nennt man die optische Helligkeit einer Lichtquelle diejenige Helligkeit, die das Auge direct wahrnimmt; die chemische Helligkeit diejenige, die durch bestimmte chemische Reactionen gemessen wird.

Diejenigen Messapparate, welche die Intensität des Lichtes direct durch seine Wirkung auf das menschliche Auge messen, nennt man optische Photometer. (34.)

Das Photometer von Rumford (35.) besteht aus einem vertikalen weissen Schirme, vor welchem in geringer Entfernung ein vertikaler Stab aufgestellt ist; bringt man in einiger Entfernung von dem Photometer zwei Lichtquellen an, so entstehen auf dem Schirme nahe bei einander zwei Schatten. Man rückt nun die beiden Lichtquellen so lange hin und her, bis beide Schatten gleich schwarz sind. Die Lichtstärken der beiden Lichtquellen verhalten sich dann zu einander wie die Quadrate ihrer Entfernungen.

Bunsen's Fettfleckphotometer besteht aus einem Papier, auf welchem ein Fettfleck sich befindet. Beleuchtet man dies Papier von vorn, so erscheint der Fettfleck dunkel auf hellem Grunde, beleuchtet man es von hinten, so erscheint er hell auf dunklem Grunde. Beleuchtet man das Papier von beiden Seiten genau gleich stark, so wird der Fettfleck ganz unsichtbar. Man lässt nun von zwei Lichtquellen die eine vor oder hinter dem Papiere feststehen. Die andere Lichtquelle nähert oder entfernt man auf der anderen Seite, bis der Fettfleck unsichtbar wird. Die Intensitäten der beiden Flammen verhalten sich dann ebenfalls, wie das Quadrat ihrer Entfernung von dem Papier.

Auf ähnlichen Principien beruhen andere Photometer, z. B. das von Leonh. Weber (36), Lummer und Brodhun (37), Ritchie (38). Um aus diesen Messmethoden ein absolutes Maass der optischen Helligkeit einer Lichtquelle zu erhalten, war es nöthig, eine Lichteinheit (39) zu schaffen, d. h. eine Lichtquelle, auf deren Leuchtkraft wir diejenige aller anderen Lichtquellen beziehen. In Deutschland diente früher als Lichteinheit die 50 mm hohe Flamme der deutschen Vereins-Paraffinkerze (Normalkerze). Diese ist jetzt durch die Hefner'sche Amylacetat-Lampe verdrängt worden, deren Licht bei 40 mm Flammenhöhe als Einheit gilt (Hefnerlicht). Man kann also nun mittelst des Bunsen'schen und Rumford'schen Photometers bestimmen, dem Wievielfachen eines Hefnerlichtes irgend einer Lichtquelle entspricht (40).

Diese Methoden messen also das eigentliche Licht, so wie es auf unser Auge wirkt. Sie geben die optische Helligkeit an. Zur Bestimmung der thermischen Wirkung einer Strahlung werden geschwärzte Thermometer oder Thermosäulen verwendet. Ein besonders empfindliches Instrument aber ist das Bolometer nach Langley (41), das darauf beruht, dass durch Erwärmung die elektrische Leitfähigkeit der Metalle abnimmt. Dieses Instrument soll bereits eine Empfindlichkeit bis auf $1/_{50000}{}^{0}$ Fahrenheit haben.

Auch die mechanische drehende Wirkung des Lichtes auf die

Crookes'sche Lichtmühle (Radiometer) wurde zur Messung der Lichtstrahlung benutzt (42). Zöllner versuchte diese drehende Kraft auf einer Skala ablesbar zu machen (43).

Diese Apparate werden vorwiegend durch die ultrarothen Strahlen angesprochen.

Anders ist das mit den Apparaten, welche die chemischen Wirkungen der Lichtstrahlen messen, den Actinometern.

Draper's (44) Tithonometer und Bunsen und Roscoe's (45) Actinometer nehmen die Bildung von Salzsäure aus Chlorknallgas als Maass für die chemische Helligkeit des Lichtes.

Bunsen und Roscoe stellten auch ein photographisches Actinometer her, bei welchem man die Intensität des Lichtes an der Schwärzung von Chlorsilberpapier maass (46). Auf demselben Princip beruht eine grosse Anzahl neuer Actinometer (47), welche natürlich bei dem Aufschwunge der Photographie eine bedeutende Rolle spielen.

Auf chemischer Wirkung beruht auch Becquerel's Actinometer, den wir schon oben (S. 18) beschrieben haben. Alle diese Apparate messen die chemische Helligkeit des Lichtes. Dabei darf man aber nicht vergessen, dass die chemische Helligkeit ein und desselben Lichtes für die verschiedenen lichtempfindlichen Substanzen, z. B. für Chlorknallgas und Chlorsilber ganz verschieden ist.

Wie verschieden sich die optischen und die chemischen Helligkeiten zu einander verhalten, zeigen folgende Zahlen (48).

Lichtquelle in 1 m Distanz	Relative Helligkeit: Optische	Chemische, bezogen auf Bromsilberplatten
Hefner-Alteneck'sche Amylacetat-Lampe	1	1
Gaslicht, Argandbrenner . . .	16	28
Drummond'sches Licht . . .	70	260
Magnesiumband	80	1628
Electrisches Bogenlicht . . .	8000	100000—300000
Electrisches Glühlicht . . .	10	86,6
Directes Sonnenlicht	70 000	450 000

Die Tabelle zeigt, dass das Magnesiumlicht und das elektrische Bogenlicht über 10 mal mehr chemisch wirksam war, als ein optisch gleich helles Lampenlicht.

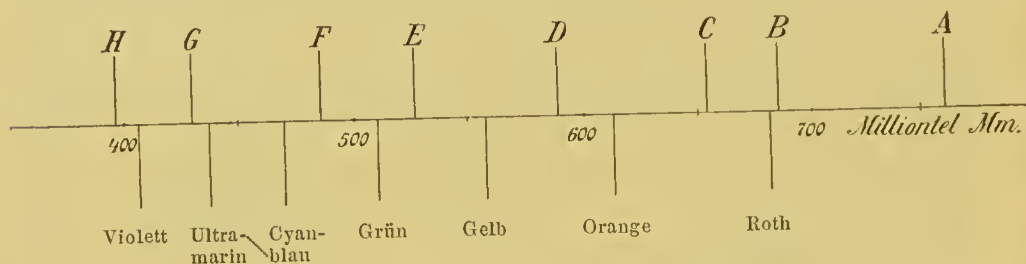
Diese Verschiedenheit der Wirkung hat ihren Grund in der qualitativ verschiedenen Zusammensetzung der verschiedenen Strahlungen. Um uns also von dem Wesen einer gegebenen Strahlung einigermaassen ein Bild machen zu können, müssen wir uns über seine Zusammensetzung unterrichten.

15. Die spectrale Analyse der Strahlungen. Dies geschieht durch den Spectralapparat (49. 50). Das Princip desselben beruht darauf, dass man das zu untersuchende Licht durch ein Prisma oder ein Gitter (siehe oben) treten und hierdurch in seine Farbenkomponenten zerlegen lässt. Das hierdurch entstehende Spectrum kann auf einen Schirm oder direct vom Auge aufgefangen werden:

Man unterscheidet **Emissionsspectren**, das sind die unveränderten Spectren leuchtender Körper und **Absorptionsspectren**, das sind die Spectren leuchtender Körper, die in Folge des Durchganges der Strahlen durch absorbirende Medien verändert sind.

Die Betrachtung eines Lichtes im Spectralapparate zeigt uns nun in erster Linie, welche Farben in demselben vorhanden sind, welche nicht. Die Abwesenheit einer Farbe zeigt sich als Lücke im Spectrum (Linie, Schatten u. s. w.). Um uns in solchen Spectren zurecht finden zu können, nehmen wir das Sonnenspectrum (siehe unten) zur Grundlage und zum Vergleiche. Das Sonnenspectrum erstreckt sich zwar über alle Farbengebiete. Es fehlen ihm aber einzelne scharf begrenzte Wellenlängen, in Folge dessen zeigt das Sonnenspectrum einzelne schwarze Linien, welche sich über das ganze Spectrum vertheilen, und deren Lage ganz constant ist (Fraunhofer'sche Linien). Die Auffallendste dieser Absorptionslinien hat man nun mit Buchstaben bezeichnet und man grenzt durch diese die einzelnen Spectralbezirke ab.

Fig. 7.



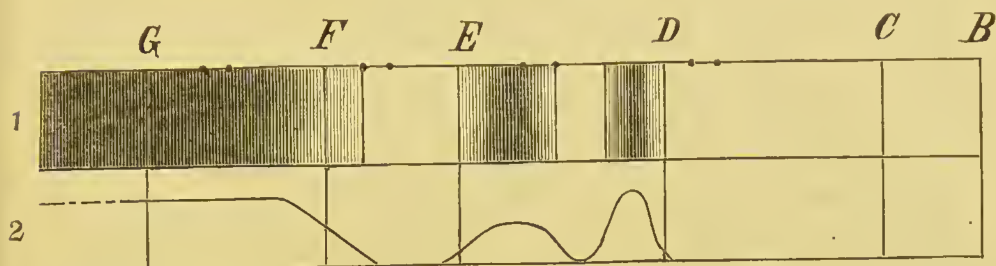
Schema der Vertheilung der Fraunhofer'schen Linien und der Farben im normalen sichtbaren Spectrum.

H	Wellenlänge	= 396,8 $\mu\mu$ (Milliontel Millimeter)		
G	"	= 430,7 "	Violett	= 410 $\mu\mu$
F	"	= 486,0 "	Ultramarin	= 439 "
E	"	= 526,9 "	Cyanblau	= 473 "
D	"	= 590,0 "	Grün	= 512 "
C	"	= 656,0 "	Gelb	= 559 "
B	"	= 686,0 "	Orange	= 615 "
A	"	= 760,0 "	Roth	= 683 "

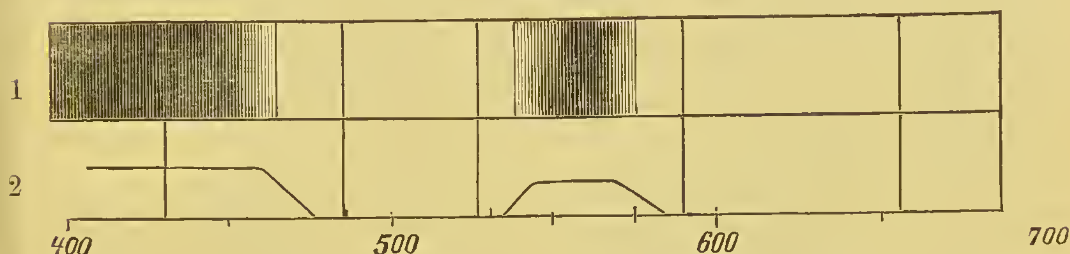
Von besonderer Wichtigkeit ist die Linie D. Sie entspricht dem Lichte, welches Natriumdämpfe absorbiren und welches glühendes Natrium aussendet. Da Natriumsalze überall vorhanden sind, und die Linie D sehr hell leuchtet, erscheint sie fast überall als Nebenerscheinung bei der Spectralanalyse anderer Stoffe und kann zur Orientierung dienen. Für Ultraviolett und Ultraroth kann man mit Hilfe der Photographie, des Phosphorescenzschirmes und des Bolometers ebenfalls ein Spectrum mit Fraunhofer'schen Linien feststellen.

Man giebt nun die Spectren ohne Hilfe von Farbe derart wieder, dass man unter Angabe der Fraunhofer'schen Linien diejenigen Spectralbezirke, welche vorhanden sind, weiss lässt, diejenigen, welche ausfallen, schwarz macht.

Figur 8.



Absorptionsspectrum des Oxyhämoglobins.
1 durch Schraffirung dargestellt
2 durch Curve "



Absorptionsspectrum des reducirten Hämoglobins.
1 durch Schraffirung dargestellt
2 durch Curve "

Man kann aber auch die relative Helligkeit der einzelnen Spectralbezirke darstellen. Dies geschieht durch Schraffirung des Spectrums oder es geschieht durch eine Curve, deren Abscisse das Spectrum, deren Ordinate die Intensität der einzelnen Farbe (bei der Darstellung von Emissionsspectren) oder die Intensität der Absorption (bei Absorptionsspectren) darstellt (51. 52) (s. Fig. 8).

Auf diese Weise kann man die einzelnen Componenten eines Spectrums sowohl, als auch verschiedene Spectren qualitativ und quantitativ vergleichbar darstellen. Allerdings darf man dabei nicht vergessen, dass die Intensitäts-Messungen immer nur für ein und dieselbe Messmethode zutreffend sind. So giebt z. B. das Sonnenspectrum eine ganz verschiedene Intensitätskurve, je nachdem seine optische oder seine chemische Helligkeit gemessen wird.

Das kalte Licht (Fluorescenz-, Phosphorescenzlicht vergl. oben Luminescenz, S. 8) hat sehr wenige ultrarothe Strahlen und eine sehr geringe

Energiesumme. Doch ist es ebenso wie es optisch wirksam ist, auch chemisch wirksam. Man kann z. B. mit Hülfe von Phosphorescenzplatten Photographien herstellen. (53). Practisch kommt das kalte Licht wenig in Betracht.

Das bei hohen Temperaturen ausgestrahlte Licht, das Glühlicht (54), zeigt einen verschiedenen Charakter, je nachdem der strahlende Körper sich in Gas- oder Dampfform befindet, oder in der Form eines flüssigen oder festen Körpers. Die Strahlung der Gase und Dämpfe (z. B. Metalldämpfe) zeigt ein Linienspectrum, d. h. ein Spectrum, welches nur einzelne linienförmige, scharf von einander getrennte Strahlengruppen enthält. Diese Emissionslinien sind für die verschiedenen Substanzen höchst charakteristisch, und auf ihrer Untersuchung beruht die Spectralanalyse der Emissionsspectren.

Die festen und flüssigen glühenden Körper dagegen zeigen ein continuirliches Spectrum, d. h. es hängen alle Spectralbezirke des Lichtes ohne Unterbrechung zusammen. Daher sind sie auch lange nicht so charakteristisch, wie die Spectren gasförmiger Körper und sind zur Spectralanalyse des leuchtenden Stoffes nicht brauchbar (55).

16. Die Strahlungen verschiedener Lichtquellen. Das Maximum der Strahlung befindet sich bei grösseren Wellenlängen je tiefer die Temperatur des strahlenden Körpers ist, und umgekehrt, je höher die Temperatur des strahlenden Körpers ist. desto grösser wird der relative Gehalt seiner Strahlung an stark brechbaren, kurzwelligen Strahlen (56). Es ist daher von Interesse, annähernd die Temperaturen einiger unserer irdischen Lichtquellen kennen zu lernen.

Es ist die Temperatur (57)

der Weingeistflamme	$<$ 2000° C.
der nichtleuchtenden Bunsenflamme	ca. 2300° C.
der Wasserstoffflamme	$<$ 3000° C.
der Knallgasflamme ca.	= 3000° C.
des electrischen Bogenlichtes. .	= 4—5000° C.

Was das optische Verhalten der Flammen anbetrifft, so ist zu bemerken, dass es für den Glanz des Lichtes von ausserordentlichem Einflusse ist, ob die Flamme nur verbrennende Gase enthält, wie die Flamme des Bunsenbrenners und die Wasserstoffflamme; sie giebt dann ein ausserordentlich lichtschwaches Gasspectrum (Linienspectrum). Werden aber in solchen hoch temperirten Flammen feste Körper zum Glühen gebracht, so geben sie ein sehr glänzendes continuirliches Spectrum. Dies geschieht z. B. wenn man durch Beschränkung der Sauerstoffzufuhr im Bunsenbrenner die Verbrennung der Kohlenwasserstoffe unvollkommen macht. Die Kohlenpartikelchen, welche sich dann im glühenden Zustande der Flamme beimischen, machen diese leuchtend. Ebenso entsteht ein ausserordentlich grelles Licht, wenn man in die Knallgasflamme einen festen Körper zum Glühen bringt (Drummondsches Kalklicht), oder in der Kohlenwasserstoffflamme gewisse seltene Erden (Gasglühlicht).

Das electrische Bogenlicht enthält ausserordentlich viele ultraviolette Strahlen. Sein Spectrum ist nach der ultravioletten Seite hin sogar bedeutend weiter ausgedehnt, als das Sonnenspectrum sein Inten-

sitätsmaximum liegt im Ultraviolett (58). Noch weiter in's Ultraviolette greift das Licht über, welches entsteht, wenn man electrische Funken zwischen Aluminiumspitzen überspringen lässt. Der ultraviolette Theil des Spectrums dieses Lichtes ist ungefähr 5 mal grösser, als der des Sonnenspectrums (59).

17. Die Sonne. Suchen wir uns von der Sonne selbst als leuchtendem Körper eine Vorstellung zu machen, so stossen wir auf durchaus andere Bedingungen als diejenigen sind, unter welchen die irdischen Lichtquellen sich befinden (60).

Um eine Anknüpfung an unsere irdischen Verhältnisse zu finden, müssen wir die Strahlung des glühenden Wasserstoffes unter verschiedenen Drucken kurz schildern. Bei gewöhnlichem Drucke zeigt glühender Wasserstoff ein schwaches Licht, das spectral in 3 scharfe Linien zerfällt, $H\alpha$ entsprechend der Fraunhofer'schen Linie C im Roth, $H\beta$ entsprechend der Fraunhofer'schen Linie F im Blaugrünen und $H\gamma$ entsprechend der Fraunhofer'schen Linie G im Blauvioletten. Bei zunehmendem Druck dehnen sich diese Linien immer mehr zu breiten Bändern aus und das Linienspectrum verwandelt sich in ein continuirliches Spectrum. Bei 1230 mm Druck ist das ganze Spectrum wahrhaft blendend; es zeigt in Folge des bei der hohen Temperatur aus dem Glase verdampfenden Natriums die Natriumlinie als schöne dunkle Linie an. Wir sehen hier also, wie aus dem Wasserstoffgas kein Linienspectrum, sondern ein continuirliches Spectrum entsteht.

Es ist nun nach Zöllner wahrscheinlich, dass die sichtbare Oberfläche der Sonnenscheibe durch diejenige Schicht der Wasserstoffatmosphäre gebildet wird, für welche durch gesteigerten Druck das Spectrum continuirlich geworden ist. Die mittlere Temperatur dieser Atmosphäre berechnet Zöllner auf 27 000° C den Druck an der Stelle, wo das Wasserstoffspectrum continuirlich wird auf ungefähr $^1/_4$ des irdischen Atmosphärendruckes.

Die glühend flüssige Oberfläche der Sonnenkugel liegt unterhalb dieser hellleuchtenden Schicht von Wasserstoffgas. Der Druck auf der Oberfläche der flüssigen Trennungsschicht würde sich demnach auf 184000 Atmosphären, der im Innern der Räume, aus welchen die leuchtenden Protuberanzen ausbrechen auf 4070000 Atmosphären stellen, die Temperatur im Innern der Sonne auf 70000° C. Der Druck ist so hoch, dass selbst bei der hohen Temperatur, welche hier herrscht die Gase, also auch der Wasserstoff nur in glühend flüssigem Zustande vorkommen können.

Unter solchen Umständen muss wohl nicht nur ein ausserordentlich intensives, sondern auch ein qualitativ ausserordentlich reiches Licht zu Stande kommen, bei welchem besonders der Gehalt an ausserordentlich kurzwelligen Strahlen in Folge der hohen Temperatur, charakteristisch sein muss. Dass trotzdem das Sonnenlicht, das uns erreicht, in Bezug auf die Ausdehnung seines ultravioletten Spectrums selbst von irdischen Lichtquellen (z. B. Bogenlicht) übertroffen wird, hat offenbar seinen Grund darin, dass dasselbe uns nicht unverändert erreicht.

18. Veränderungen des Sonnenlichtes auf seinem Wege.

Zunächst wird das Sonnenlicht schon durch die Gase und Dämpfe, welche den Sonnenball umgeben, absorbirt. Diese Absorption erzeugt eine grosse Menge linienförmiger dunkler Striche im Sonnenspectrum (Fraunhofer'sche Linien), welche ausserordentlich charakteristisch sind für die Gase und Dämpfe, welche sie durch Absorption erzeugen. Diese Gase und Dämpfe absorbiren nämlich entsprechend dem Kirchhoff'schen Gesetze vom durchgehenden Lichte dieselben Spectralbezirke, die sie selbst in glühendem Zustande auszustrahlen vermögen. Demnach erzeugt z. B. Natriumdampf im Sonnenspectrum eine Fraunhofer'sche Linie, die Linie D, genau an derselben Stelle, wo glühender Natriumdampf eine helle Linie, die Natriumlinie erzeugt. Man kann daher an den Fraunhofer'schen Linien ablesen, welche Gase und Dämpfe die Sonnenatmosphäre enthält, und ebenso kann man die chemische Zusammensetzung anderer Himmelskörper auf diesem Wege bestimmen (61).

Von grösserer Bedeutung für die Wirkungen des Sonnenlichtes ist jedoch die Absorption, welche es in der Atmosphäre der Erde erfährt, die tellurische Absorption (62).

Die Durchsichtigkeit der Luft (62, 63, 64) ist unvollkommen; sie hängt ab von dem Gehalt der Luft an Staub, Wasserdampf und Kohlensäure und ist grossen Schwankungen unterworfen, je nach Höhe, Klima, Jahres-, Tageszeit und Witterung. Verhältnissmässig sehr durchsichtig ist die Luft im Hochgebirge (65) (Alpen) in Aequatorialgegenden und in trockenen Binnenländern, so namentlich in Persien, dem Himalaya und in Sibirien. Aber für ein und denselben Ort ist die Durchsichtigkeit der Atmosphäre bei verschiedener Witterung, zu verschiedenen Jahreszeiten und Tagesstunden sehr verschieden (66. 67). Im Allgemeinen sind die sonnigsten wolkenfreien Tage keineswegs diejenigen, an welchen die Luft besonders durchsichtig ist. Im Gegentheil hat man bei anhaltend guter Witterung selten eine klare Fernsicht, und man kann es fast stets als ein Zeichen bald eintretenden Regens betrachten, wenn ferne Berge sehr klar erscheinen. Das kommt daher, dass die Feuchtigkeit den atmosphärischen Staub niederschlägt.

Anderseits ist die allgemeine Tageshelle auch von der Reflexion des Lichtes durch die Wolken abhängig. Sie ist daher nicht bei blauem Himmel am grössten, sondern wenn der Himmel mit dünnen faserigen Wölkchen bedeckt ist (68).

Aber nicht nur auf die Intensität der Strahlung ist die Atmosphäre von grossem Einfluss, sondern auch auf ihre Zusammensetzung (69. 70). Die Atmosphäre absorbirt sehr stark die kurzwelligen Schwingungen des Lichtes. Daher kommt es, dass das zu uns gelangende Sonnenlicht viel ärmer an solchen ist, als man nach seiner Entstehung erwarten sollte. Auch der Gehalt an solchen kurzwelligen Strahlen und damit die photographische Wirkung des Sonnenlichtes ist grossen Schwankungen unterworfen. Ebenso ist der Gehalt an ultrarothen Strahlen vom Zustande der Atmosphäre, insbesondere ihrem Gehalte an Wasserdampf und Kohlensäure abhängig (71). Leider besitzen wir hierüber keine systematischen Spectraluntersuchungen, welche dringend nothwendig wären, um von der Wirkung der Sonnenstrahlen ein richtiges Bild zu bekommen. Im sichtbaren Theile des Spectrums zeigt die Atmosphäre

einige Absorptiorslinien (atmosphärische Linien), die zum grossen Theil von Wasserdampf herrühren (72).

Am deutlichsten kommt die Absorption der Atmosphäre zur Beobachtung bei Sonnenuntergang (73). Indem die Sonne sich dem Horizonte nähert, schreitet die atmosphärische Lichtabsorption ungefähr in folgender Weise voran: Zuerst verschwindet der violette Theil des Spectrums bis G. Während dann die Absorption von G gegen das Roth hin fortschreitet, treten Absorptionsbänder und Linien in Roth und Gelb auf, und zwar um so dunkler werdend, je tiefer die Sonne sinkt. Zuletzt bleiben nur noch helle Partien in Roth und Orange zwischen B und D und die grüngelbe Partie auf der anderen Seite von D. Analoge Schwankungen in unsichtbaren Spectren finden den ganzen Tag über statt. „Wir würden daher, wenn die Natur unserem Auge die Fähigkeit verliehen hätte, die Wellenlänge der sogenannten unsichtbaren Strahlen wie bei den sichtbaren durch Farbeneindrücke zu unterscheiden, die Morgenröthe während der Dauer des Tages durch allmälige Farbenübergänge in die Abendröthe sich verlieren sehen" (Ostwald).

II. Photochemie.

Viertes Kapitel.

Die chemische Energie; ihre Beziehungen zu anderen Kräften.

19. Die chemische Energie. Als chemische Energie (1) oder innere Energie bezeichnen wir diejenige Form der Energie, auf welche ausschliesslich der innere Aufbau (die chemische Constitution) und die bleibenden, charakteristischen Eigenschaften der einzelnen Stoffe beruhen.

Jede Veränderung des Gehaltes an chemischer Energie verändert auch den inneren Aufbau, das eigentliche Wesen eines Stoffes. Umgekehrt bleibt die chemische Energie eines Körpers unverändert, so lange sein innerer Aufbau unverändert bleibt. So behält z. B. Eisen seine Natur eben als Eisen und damit auch seinen Gehalt an chemischer Energie, gleichgültig, ob es heiss oder kalt, fest, flüssig oder gasförmig, in Ruhe oder Bewegung, unter starkem oder geringem Drucke, dunkel oder leuchtend, electrisch und magnetisch activ oder neutral ist u. s. w. Es bleibt derselbe Stoff, d. h. es zeigt unter denselben Bedingungen gegenüber den Kräften immer dasselbe Verhalten, eben das Verhalten des Eisens. Sein Wesen als Eisen und damit sein Gehalt an innerer Energie verliert es erst dann, wenn er durch eine chemische Reaction seinen inneren Aufbau ändert. Die chemische Energie besitzt die Fähigkeit ganz besonders stark an der Materie zu haften, und in Ruhe zu verbleiben. Sie ist eine ausgeprägte Dauerform der Energie, während die anderen Formen der Energie viel weniger oder gar nicht sich an eine Materie binden und so aufspeichern lassen. So ist zum Beispiel die chemische Energie, welche vor Jahrtausenden die Sonne in der Kohle aufgespeichert hat, in derselben jetzt noch unverändert vorhanden.

Die chemische Energie ist aber nicht nur die dauerndste, sie ist auch die concentrirteste Form der Energie, d. h. die Materie kann in der Form chemischer Energie eine grössere Energiemenge aufnehmen, als in der Form von Wärme, Electricität, Licht, mechanische Energie. Daher ist die chemische Energie eine ganz hervorragende Kraftquelle (z. B. Feuerung) und spielt im täglichen Leben die grösste Rolle. „Es giebt keine andere Energieform, welche die beiden Eigenschaften der bequemen Aufbewahrung und der grossen Anhäufung im kleinen Raume

und kleiner Masse, wodurch ein bequemer Transport ermöglicht wird, auch nur annähernd in diesem Maasse vereinigt" (2).

„Dieselbe Eigenthümlichkeit machen sich sämmtliche Organismen zu gute, welche ihren gesammten Energiebedarf aus chemischer Quelle bestreiten, und deren bewunderungswürdige Organisation wesentlich auf die Eigenthümlichkeit dieser Energieart begründet ist" (Ostwald).

20. Chemische Reactionen. Verschiebungen der chemischen Energie nennen wir chemische Reactionen. Durch einen geeigneten Anstoss kann die chemische Constitution und damit der Gehalt an chemischer Energie eines Körpers verändert werden, eine solche chemische Reaction besteht in einer Veränderung der Stellung, welche die Atome des Körpers zu einander einnehmen.

Es kommen dabei folgende Fälle (3) in Betracht:

a) Die Molekel kann unmittelbar aus den Atomen sich zusammensetzen, oder
b) wieder in Atome zerfallen.
c) Mehrere Molekel können sich zu einer einzigen vereinen (addiren) oder
d) eine kann in mehrere zerfallen (sich spalten), die entweder einander gleich oder ungleich sein können.
e) Eine Molekel verliert eins oder mehrere der sie bildenden Atome, oder
f) sie nimmt neue auf.
g) Ein- und Austritt findet gleichzeitig statt, und zwar meistens derart, dass die eintretenden Atome den austretenden äquivalent sind und deren Stelle einnehmen (Substitution).
h) Die zu einer Molekel verbundenen Atome ändern die Art ihrer Verkettung (metamare Umwandlung).

Treten diese Hauptformen des chemischen Umsatzes nebeneinander auf, so kommen mehr oder weniger verwickelte Vorgänge eintreten, und das ist fast stets die Regel.

Die Ursachen (die bewegenden Kräfte) des chemischen Umsatzes haben wir theils in der Molekel selbst und den Atomen, aus denen sie besteht, zu suchen, also in der inneren oder chemischen Energie, theils ausserhalb derselben in der Einwirkung äusserer Kräfte, jedoch so, dass auch die äusseren Kräfte ihre Angriffspunkte in den Molekel finden, sich also in chemische Energie umsetzen.

Aeussere Kräfte kommen aber nicht nur bei der Einleitung einer chemischen Reaction in Betracht, sondern auch bei dem weiteren Verauf derselben. Denn im Verlaufe einer chemischen Reaction wird der Gehalt der betheiligten Materie an chemischer Energie entweder vermehrt oder vermindert. Es wird also entweder andersartige Energie gebunden und in gleichwerthige chemische Energie übergeführt, oder es wird andersartige Energie aus gleichwerthiger chemischer Energie gebildet und freigemacht.

Bei Weitem am häufigsten findet dieser Energiewechsel statt zwischen der chemischen Energie und der Wärme. Bei den meisten chemischen Vorgängen entsteht oder verschwindet Wärme.

Man benutzt diese Erscheinungen, um ein Maass für die von der chemischen Energie bei den Reactionen geleistete Arbeit zu gewinnen, indem man feststellt, wie viele Wärmeeinheiten (Kalorien) ein bestimmter chemischer Vorgang bindet oder frei macht. Hierauf beruhen die wichtigsten Lehren der Thermochemie.

Man darf aber nicht vergessen, dass die chemische Energie mit allen anderen Energieformen ebensowohl in Wechselbeziehungen steht, wie mit der Wärmeenergie, und dass es auf die betheiligte Materie ankommt, in welche Energieform sich frei werdende chemische Energie verwandelt, oder aus welcher sie sich bildet.

So kann sich chemische Energie auch verwandeln in mechanische Energie, wie wir das bei der Entzündung explosibeler Stoffe beobachten; in electrische Energie, wie das bei den galvanischen Elementen durch Ionenbildung der Fall ist; in Licht bei der Entzündung leuchtender Flammen und bei der Chemiluminescenz.

Die chemische Energie kann entstehen aus mechanischer Energie, wie z. B. wenn sich Silbersalze durch Druck zersetzen; aus electrischer Energie, wie bei den Vorgängen der Electrolyse; aus Wärme, wie bei den chemischen Reductionen durch Erhitzung; aus Licht, wie bei den photochemischen Vorgängen, welche uns im Folgenden noch eingehend beschäftigen werden.

Vielfach geht aber die chemische Energie wieder in chemische Energie über; das ist der Fall bei allen chemischen Vorgängen, wo die äusseren Kräfte nur den Anstoss geben, während die chemische Energie aus eigenen Mitteln sie fortführt —, wie z. B. bei der Verbrennung von Holz.

Fünftes Kapitel.

Allgemeine Photochemie. Die Umsetzung des Lichtes in chemische Energie und ihre Gesetze.

21. Photochemische Reactionen. Die Photochemie behandelt diejenigen chemischen Vorgänge, welche durch das Licht veranlasst werden. Das Licht kann dabei entweder die Energie für die gesammte chemische Reaction, oder auch nur für die Einleitung der Reaction liefern (Photochemische Induction) (4. 5). Um in einer im chemischen Gleichgewichte befindlichen Masse eine Reaction hervorzurufen, muss immer zunächst Energie verbraucht werden, gleichgiltig ob schliesslich im Verlaufe der Reaction Energie frei wird, oder Energie gebunden wird.

Chemische Vorgänge, welche das Licht veranlasst, nennt man photochemische Reactionen; die Substanzen, welche solche Reactionen eingehen, nennt man lichtempfindliche Substanzen. Die chemische Wirkung ein und derselben Lichtmenge ist proportional

dem Gehalte des beleuchteten Stoffes an lichtempfindliche Substanzen.

Für die Bedeutung, welche eine Substanz für photochemische Processe hat, kommen vor Allem zwei Reihen ihrer Eigenschaften in Betracht: ihre optischen, und ihre chemischen Eigenschaften.

Damit das Licht in einer Substanz eine chemische Reaction hervorrufen, also in der Substanz Arbeit leisten kann, ist die erste Bedingung, dass dieses Licht von dieser Substanz absorbirt werde (6). Daher verliert eine Strahlung ihre Wirksamkeit auf eine lichtempfindliche Substanz, nachdem sie genügende Mengen Substanz durchsetzt hat, um alle diejenigen Strahlen abzugeben, welche die Substanz absorbirt (Erschöpfung der Lichtstrahlen). Nun ist zwar keine Substanz für irgend eine Strahlengattung absolut durchlässig. Doch vertheilt sich die Absorption derjenigen Strahlen, für welche die Substanz eine grosse Durchlässigkeit besitzt zu sehr, um wesentlich in Betracht zu kommen.

Die Absorption der wirksamen Strahlen kann entweder durch die lichtempfindliche Substanz selbst geschehen; dies ist der häufigste Fall. Oder sie kann durch eine Substanz (optischer Sensibilisator) geschehen, welche der lichtempfindlichen Substanz beigemischt ist (7). So sind photographische Platten z. B. sehr wenig für grün empfindlich, ihre Empfindlichkeit wird ganz wesentlich erhöht durch Beimischung von Eosin, das Grün sehr stark absorbirt.

Das absorbirte Licht wird nun freilich nicht etwa ausschliesslich für chemische Reactionen in Anspruch genommen, sondern auch in andere Formen der Energie übergeführt (optische Extinction). So wird z. B. das von Chlorknallgas absorbirte Licht zu $^2/_3$ in Wärme und zu $^1/_3$ in chemische Energie übergeführt (8). Welche Umsetzunge in jedem gegebenen Falle stattfinden, ist z. Z. nicht theoretisch zu berechnen, sondern nur durch das Experiment zu entscheiden.

Von grösstem Einfluss auf den Eintritt und Verlauf einer photochemischen Reaction sind jedoch die chemischen Eigenschaften der betheiligten Substanzen. Je nachdem diese einen einfachen oder zusammengesetzten Bau, einen relativ grossen oder kleineren Gehalt an chemischer Energie, ein festes oder auseinanderstrebendes Gefüge haben, besteht die photochemische Reaction in einer Umlagerung, Verbindung oder Zersetzung der Moleküle, in einem Freiwerden oder einer Bindung von Energie.

Man thut jedoch gut, sich an diese aus schematischen Gründen aufgestellten Begriffe nicht mehr zu binden, als der Ausdruck verlangt (9); es ist richtiger alle möglichen Formen des chemischen Umsatzes (vergl. Seite 29) unter gemeinsamen Gesichtspunkten zu betrachten.

Die chemische Wirkung des Lichtes auf die Substanzen ist so zu erklären, dass es die denselben innewohnende Reactionsfähigkeit steigert, oder die Widerstände gegen die Reaction vermindert, indem er die Spaltung der Moleküle, wenn nicht bewirkt, so doch erleichtert. So lassen sich denn auch alle photochemischen Reactionen gerade wie die thermochemischen als Zerlegungen oder Dissociationen (unter welchen offenbar die Dissociation der Electrolyte in ihre Ionen eine

wesentliche Rolle spielt) auffassen, und so unter einen einheitlichen Gesichtspunkt bringen.

Diese Auffassung giebt uns ein besonders lebendiges Bild der photochemischen Reactionen. Ein sehr einleuchtendes Beispiel für solche Vorgänge haben wir schon in Becquerel's electrischen Actinometer angeführt (10) (vergl. S. 18). Dieser Auffassung passen sich ferner die Thatsachen an, dass die sehr lichtempfindlichen Silbersalze auch in trockenem Zustande die Electricität leiten, also theilweise dissociirt sind und dass sie bei Belichtung besser leiten, also stärker dissociirt sind, als im Dunkeln (11); dass viele lichtempfindliche Substanzen vom Lichte derart beeinflusst werden, dass sie nicht von diesem direct chemisch umgesetzt, sondern nur für eine später vorgenommene chemische Reaction (z. B. Entwickelung photographischer Platten) reactionsfähig gemacht werden (12. 13); dass manche Substanzen die Eigenschaft haben, auf gewisse z. B. violette Strahlen derart zu reagiren, dass sie von diesen nicht merklich zersetzt, sondern nur für die Zersetzung durch andere z. B. rothe Strahlen reactionsfähig gemacht werden (photochemische Induction, Vorbelichtung photographischer Platten) (14).

Ausser den chemischen Eigenschaften der lichtempfindlichen Substanzen selbst sind für die photochemische Reaction aber auch die chemischen Eigenschaften der beigemischten, nicht direct lichtempfindlichen Substanzen von Wichtigkeit (15. 16). Die photochemische Reaction wird nämlich häufig erst dadurch möglich, dass das lichtempfindliche, durch das Licht dissociirte und reactionsfähig gemachten Substanz nun auch die Möglichkeit gegeben wird sich mit einer anderen Substanz zu verbinden. In dieser Beziehung spielen die organischen Substanzen eine grosse Rolle. So wird Silbersalz in reinem, unvermischten Zustande nicht reducirt. Reducirt wird es aber, wenn es mit Substanzen, die sich mit dem dissociirten Chlor oder Brom etc. verbinden, wie z. B. Eiweiss und Collodium vermischt ist (chemische Sensibilatoren), noch mehr, wenn es mit anderen stark reducirenden Substanzen (Entwickler) behandelt wird. Wir werden uns dieser Vorgänge im Kapitel Photophysiologie zu erinnern haben.

22. Die Bedeutung des einwirkenden Lichtes für die photochemische Reaction. Ausser den lichtempfindlichen Substanzen kommt für die photochemischen Reactionen vor Allem das wirkende Licht in Betracht. Die photochemische Wirkung (der photochemische Effect) einer constanten Strahlung ist proportional der Lichtstärke) (= Lichtintensität × Zeit) (17). Die chemische Wirkung polarisirten Lichtes ist gleich der Wirkung nicht polarisirten Lichtes derselben Intensität (18). Die chemische Wirkung des Lichtes verschiedener Brechbarkeit (Farbe) ist verschieden. Es können natürlich überhaupt nur diejenigen Strahlen wirksam sein, welche absorbirt werden. Daher ist eine Strahlung, welche schon genügende Mengen einer lichtempfindlichen Substanz durchsetzt hat, um diejenigen Strahlen zu verlieren, welche diese Substanz absorbirt, auf weitere Schichten derselben Substanz ohne Wirkung (19). (Erschöpfung der Strahlung.)

Von denjenigen Strahlen, welche eine Substanz absorbirt, kann ein Theil in chemischer Energie, ein anderer Theil in eine andere Energie, z. B. Wärme, umgesetzt werden. Das lässt sich nicht theoretisch vor-

aus berechnen, sondern nur durch das Experiment feststellen. Aber alle Lichtstrahlen sind im Stande chemische Reactionen zu erzeugen. Es ist daher ein Missbrauch, die violetten und ultravioletten Strahlen ausschliesslich als chemische Strahlen zu bezeichnen. Nicht einmal in der Photographie steht ihnen dieses Privileg zu. So sind die violetten Strahlen z. B. zwar zur Einleitung photographischer Processe besonders befähigt, die rothen Lichtstrahlen dagegen in hervorragendem Maasse zur Fortführung eingeleiteter photographischer Reactionen (20. 21).

Diejenigen Strahlen, welche auf ein und dieselbe Substanz chemisch wirken, können in dieser verschiedenartige chemische Reactionen hervorrufen. Ebenso kann ein und dieselbe Strahlengattung in verschiedenen Substanzen auch verschiedenartige Reactionen hervorrufen. Und zwar können alle Strahlen sowohl Verbindungen als auch Zersetzungen hervorrufen. Es ist daher ein Missbrauch, wenn man die violetten Strahlen ausschliesslich als reducirende, die rothen ausschliesslich als oxydirende bezeichnet. Der Vorgang hängt nicht von der Farbe des Lichtes, sondern von der chemischen Beschaffenheit des lichtempfindlichen Stoffes ab (22. 23). So wird z. B. Guajak in violettem Lichte oxydirt, in rothem wieder reducirt.

Es kann vorkommen, dass die verschiedenen Farbencomponenten eines Lichtstrahls einander geradezu chemisch entgegenwirken (antagonistische Wirkung), dass also die Summe einer Strahlung unter Umständen einen geringeren chemischen Effect hat, als ihre einzelnen Componenten. So nimmt bis zu einem gewissen Grade der Belichtung die Fähigkeit der Silbersalze sich im Entwickler zu schwärzen, zu, darüber hinaus aber wieder ab (sogenannte Solarisation) (25); dieser Process wiederholt sich einige Male hintereinander und beruht darauf, dass die weniger brechbaren (rothen) Strahlen, die voraufgegangene Wirkung der stärker brechbaren aufheben.

Ausser den Eigenschaften des einwirkenden Lichtes und den Eigenschaften der reagirenden Substanzen kommen für die photochemischen Reactionen auch noch begleitende Umstände in Betracht. So wird die photochemische Reaction beschleunigt durch die Mitwirkung solcher Kräfte, welche auf die reagirenden Substanzen denselben Effect ausüben, wie das Licht. In erster Linie kommen hier hohe Temperaturen in Betracht, welche ja auch dissociirend wirken und unter deren Einfluss die meisten photochemischen Reactionen beschleunigt werden. In ähnlicher Weise kann Druck und Electricität solche Wirkungen hervorrufen.

Schliesslich sei erwähnt, dass manche photochemische Reactionen ebenso wie viele chemische Reactionen nur in gelösten Stoffen vor sich gehen.

Sechstes Kapitel.

Specielle Photochemie. Das chemische Verhalten einzelner Substanzen zum Licht.

Die chemischen Wirkungen des Lichtes sind unzählig. Die Reactionen variiren nicht nur mit der Zusammensetzung des wirksamen Lichtes und der Art der lichtempfindlichen Substanz, sondern auch mit denjenigen Substanzen, welche mit den lichtempfindlichen in Berührung sind. Um eine vollständige Photochemie zu schreiben, müsste man alle möglichen Substanzen unter allen möglichen Bedingungen untersuchen, und es ist fraglich, ob sich dann eine finden würde, welche als absolut lichtempfindlich zu bezeichnen wäre. Unsere Aufgabe muss sich darauf beschränken, aus der Fülle der bisher bekannten Reactionen einzelne herauszugreifen, welche typisch sind. Möglichst umfassende Zusammenstellungen finden sich in den angeführten Lehr- und Nachschlagebüchern (26. 27. 28).

Wir haben im vorhergehenden Kapitel darauf aufmerksam gemacht, dass man die photochemischen Reactionen sehr wohl aus einem gemeinsamen Gesichtspunkte betrachten kann. Wir entsprechen ausschliesslich einem Bedürfnisse nach Uebersichtlichkeit, wenn wir im Folgenden die zu erwähnenden photochemischen Reactionen in Gruppen theilen.

23. Die Einwirkung des Lichtes auf Elemente kann darin bestehen, dass das Element, ohne Verbindungen einzugehen, seinen Molekularzustand ändert. So wird gelber Phosphor durch das Licht, besonders die stark brechbaren Strahlen von H bis in's Ultraviolette, in rothen Phosphor übergeführt. Amorphes Selen wird im Lichte krystallinisch und dadurch besser leitend für die Electricität. Geschmolzener Schwefelbildet im Lichte eine Modification, die in Schwefelkohlenstoff unlöslich ist.

Von besonderer Wichtigkeit für die Rolle, welche das Licht in der Natur spielt, ist es, dass unter dem Einflusse des Lichtes aus Sauerstoff das ausserordentlich viel activere Ozon entsteht.

Ferner können unter Einfluss des Lichtes Elemente Verbindun-
von Cl und H (Chlorknallgas) zu HCl (Salzsäure) im Lichte gelten.
gen eingehen. Als klassisches Beispiel hierfür kann die Vereinigung
Es sind dabei nur ganz bestimmte Strahlengruppen wirksam. Je nach der Quantität und Qualität der Strahlung erfolgt die Vereinigung langsam oder explosionsartig schnell (29). Quecksilber und Schwefel vereinigen sich in zugeschmolzener Röhre nur bei Lichtzutritt zu Schwefelquecksilber.

Metalle, besonders Blei, Arsen, Antimon sollen im Lichte rascher oxydiren (30).

24. In anorganischen Verbindungen kann das Licht auch verschiedenartige Wirkungen hervorbringen. Auf Veränderungen des Molekularzustandes ist zurückzuführen, dass Zinnober am Lichte allmälig schwarz wird, durchsichtiger Realgar undurchsichtig wird, Hyacinth Glanz und Farbe verliert, farblose Gläser farbig und Chlor-

Brom- und Jodsilber-Krystalle pulverig werden. Nickelsulfat und selensaures Zinkoxyd ändern im Lichte ihre Krystallform.

Ferner führt das Licht Verbindungen anorganischer Körper herbei. Es beschleunigt viele Oxydationsprocesse. Quecksilberoxydul färbt sich im rothen Lichte unter Sauerstoffaufnahme roth. Violettes Licht zerstört wieder die rothe Farbe. Eisenvitriol oxydirt im rothen Lichte stärker (= 1,2—1,6), dagegen im violetten Lichte weniger stark, (= 0,1 bis 0,6) als im Dunkeln (= 1,0). Wir haben hier zwei sehr charakteristische Beispiele antagonistischer Wirkungen verschiedener Farben.

Analog der Bildung von Ozon aus Sauerstoff, und für die Rolle des Lichtes in der Natur eben so wichtig ist die Bildung von Wasserstoffsuperoxyd aus Sauerstoff und Wasser durch das Licht.

Von Zersetzungen anorganischer Verbindungen durch das Licht sei erwähnt dass Chlorwasser und zwar am meisten durch die stark brechbaren Strahlen unter Sauerstoffentwickelung in Salzsäure verwandelt wird. Die einmal eingeleitete Zersetzung geht auch im Dunkeln fort, wenn auch mit abnehmender Geschwindigkeit.

Die Salze der Haloide zeigen grosse Neigung unter Einfluss des Lichtes sich zu reduciren. Auf der Neigung der Salze der Schwermetalle, insbesondere der Silbersalze, der Goldsalze, Platinsalze, aber auch der Eisensalze sich im Lichte zu reduciren beruhen die photographischen Processe (31. 32).

Diese Salze, ebenso die Chromate sind in chemisch reinem Zustande lichtbeständig, bei Gegenwart organischer Substanzen aber reduciren sie sich (chemische Sensibilatoren).

Aehnlich verhalten sich manche Sauerstoffverbindungen, so Wasserstoffsuperoxyd, welches sich im Sonnenlichte bei Gegenwart organischer Substanzen auch leichter reducirt.

25. Für die Wirkung des Lichtes auf organische Substanzen kommen die soeben besprochenen Vorgänge insofern in Betracht, als sie einen indirecten Einfluss des Lichtes auf organische Substanzen, welche lichtempfindlichen unorganischen Stubstanzen beigemischt sind, bedingen. Denn die bei der photochemischen Zersetzung freiwerdenden Bestandtheile anorganischer Salze wirken in statu nascendi auf die organischen Substanzen ein. Verstärkt wird diese Wirkung noch dadurch, dass das Licht die Vereinigung sowohl des Chlors als auch des atmosphärischen Sauerstoffes mit dem Kohlenstoff und Wasserstoff der organischen Stoffe befördert. Sumpfgas, Aethylen, Essigsäure, Citronensäure, Aethyläther, Alkohol, Benzol, Naphthalin verbinden sich im Sonnenlichte mit Chlor, z. Th. auch mit Jod und Brom leichter als im Dunkeln. Aether, Aldehyd, Zimmetöl, Terpentinöl, Citronenöl, Xylen oxydiren im violetten Lichte 2 bis 3 mal rascher als im Dunkeln. Phenol röthet sich im Lichte in Folge von Oxydation seiner Verunreinigungen. Mineralöle absorbiren unter Einfluss des Lichtes Sauerstoff, welcher die Stoffe, mit denen er in Berührung kommt, leicht oxydirt.

Ebenso oxydiren viele Fette und Oele im Lichte, und zwar am meisten durch die stärker brechbaren Strahlen. Guajacharz färbt sich im weissen und violetten Lichte durch Oxydation grün oder blau, im rothen Lichte wird es durch Reduction wieder gelb, wiederum ein Bei-

spiel antagonistischer Wirkung verschiedener Strahlengattungen. Hierher gehört auch das Ausbleichen vieler organischer Farbstoffe, die Wachs- und die Leinenbleiche. Die Ozon- bezw. Wasserstoffsuperoxydbildung durch das Licht einerseits, die Oxydation der Farbstoffe andererseits spielen hierbei eine grosse Rolle. Viele Farbstoffe, z. B. Indigo, Orseille, Safflor sind bei Abwesenheit von Sauerstoff lichtbeständig, während sie bei Luftzutritt rasch bleichen; bei Indigo, Indigschwefelsäure, Curcuma, Orleans erfolgt das Bleichen im Lichte rascher in feuchter als in trockener Luft.

Die meisten Theerfarbstoffe werden stark durch das Licht gebleicht.

Curcuma wird im violetten und grünen Lichte unter Oxydation entfärbt, dagegen nicht im rothen; nach kurzer Belichtung wird Curcumapapier noch nicht sichtlich verändert, aber Kalkwasser bringt auf demselben keine braune Färbung mehr hervor.

Lakmus entfärbt sich am stärksten in Violett, weniger in Roth, fast garnicht im Dunkeln.

Auf vegetabilische Stoffe können fast alle Strahlen Wirkungen hervorbringen. Die Blumenfarbstoffe auf Papier gestrichen bleichen in jenen Strahlen des Spectrums am raschesten, welche zur Farbe der Blume complementär sind. Das sind aber eben diejenigen Strahlen, welche der betreffende Farbstoff absorbirt.

Auch Chlorophyll und dessen Lösungen werden im Lichte entfärbt; am stärksten wirken auch hier die complementären Farben. Ebenso bleichen Blattroth und Blattgelb im Lichte.

Die Farben der Schmetterlingsflügel bleichen am meisten im weissen und violetten Lichte.

Von Zersetzungen organischer Substanzen durch das Licht sind wichtig diejenigen der organischen Eisenverbindungen, welche ebenfalls in der Photographie eine Rolle spielen. — Aether nitrosus wird im Lichte gelb. Amylnitritdämpfe bilden im Lichte schwere Nebel von Amylnitrat und Untersalpetersäure. Besonders wirksam sind hier die stark brechbaren Strahlen. Oxalsäure in wässriger Lösung wird unter Oxydation zerstört. Santonin wird im Lichte gelb, und die Krystalle zerspringen; es bildet sich Photosantonin.

Die Lösung der Chininsalze, sowie trocknes oder feuchtes schwefelsaures Chinin bräunt sich an der Sonne; es bildet sich Chinindinsulfat, besonders unter dem Einfluss jener Strahlen, welche die Fluorescenz des Chinins erzeugen. Hämatoxylin wird ohne Aenderung der Zusammensetzung, selbst im Vacuum roth. Papier, welches mit Stärke überzogen ist, wird nach einer Stunde in der Sonne so verändert, dass es sich mit Jodkalium ziegelroth färbt; besonders wirksam ist das blaue und violette Licht. Chloroform zersetzt sich unter dem Einflusse des Sonnenlichtes rasch unter Bildung von freiem Chlor, Chlorkohlenoxyd (Phosgengas $COCl_2$) und Wasser.

III. Photophysiologie.

Siebentes Kapitel.

Allgemeine Photophysiologie.

26. Die Stellung des Lichtes in der Physiologie. Unter photophysiologischen Vorgängen verstehen wir solche Vorgänge in der belebten Materie, welche durch das Licht, das von der belebten Materie absorbirt wurde, veranlasst werden. Es ist gleichgiltig, ob dabei das Licht nur den Anstoss zu dem physiologischen Vorgange giebt, oder ob die Energie des Lichtes selbst die Kraft ist, welche bei dem betreffenden Vorgange verbraucht und umgewandelt wird.

Die physiologischen Vorgänge haben ihre Wurzeln in denselben Beziehungen zwischen Energie und Materie, welche die Physik und Chemie behandeln. In der lebenden Materie ist eine grosse Menge chemischer Energie aufgespeichert, deren Umsetzung die hauptsächliche Kraftquelle für physiologische Vorgänge ist. Doch spielen auch die anderen Formen der Energie dabei eine grosse Rolle, indem sie auf den regelmässigen (physiologischen) Verlauf dieser Vorgänge einen wesentlichen Einfluss ausüben.

Eine Kraft, welche von aussen auf belebte Materie einwirkt, von dieser aufgenommen wird und dadurch einen physiologischen Vorgang (Reaction) hervorruft, nennen wir einen Reiz. Die Fähigkeit der belebten Materie durch Reize zu physiologischen Vorgängen angeregt zu werden, nennen wir die Reizbarkeit der lebenden Materie. Ein gewisses Maass von Reizen ist für den regelmässigen Verlauf der physiologischen Vorgänge nothwendig. Ein Zuwenig davon lässt der Lebensprocess nicht zur gehörigen Entfaltung kommen; ein Zuviel kann seinen Mechanismus theilweise oder ganz, vorübergehend oder dauernd zerstören (Traumen).

Eine äussere Kraft kann in das Gleichgewicht der belebten Materie störend eingreifen entweder dadurch, dass sie ohne starke Schwankungen sich dieser Materie in vermehrtem oder vermindertem Maasse mittheilt, als vorher. Die Einwirkung ist dann desto eingreifender, je grösser die Vermehrung oder Verminderung der einwirkenden Kraft, und je länger die Dauer der Einwirkung ist (z. B. beim constanten Strom Intensität $\times$ Zeit; bei der Wärme-Zufuhr und -Entziehung Temperatur $\times$ Zeit, bei mechanischer Einwirkung Druck $\times$ Zeit). Es können aber auch plötz-

liche Schwankungen einer äusserlichen Kraft als solche einen Reiz bilden. Dann ist die Einwirkung desto kräftiger, je grösser die Intensitäts-Schwankung, und je kürzer (allerdings mit gewissen Einschränkungen) die Zeitdauer des Verlaufes dieser Schwankung ist. (Electrische Strom-Schliessung und -Oeffnung; plötzlicher Wärme- und Kälte-Reiz, Stoss).

Auf die Frage, welches Quantum der verschiedenen Reize für den physiologischen Process nothwendig und zuträglich ist, geben zwar durch die Beobachtung gewonnene Zahlen Antwort, doch haben diese keinen absoluten Werth, denn das lebende Gewebe passt sich innerhalb gewisser Grenzen den Reizen an, welche seine Umgebung bietet (Gewöhnung).

Als Reize kommen hauptsächlich in Betracht die chemische, mechanische, electrische, thermische und optische Energie.

Die Vorgänge, welche die Reize in der normalen lebenden Materie auslösen, nennen wir die physiologische Reaction derselben. Der Reiz und die physiologische Reaction stehen zwar in demselben Verhältnisse von Ursache und Wirkung zu einander wie die auslösende Kraft und die Reaction bei den physikalischen und chemischen Vorgängen. Und diese Reactionen sind ebenso wie jene dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft unterworfen; doch haben wir schon bei Besprechung der physikalischen und chemischen Vorgänge gesehen, dass die einwirkende Kraft das eine Mal die Energie für die Reaction hergiebt, das andere Mal nur die latenten Kräfte auslöst, welche die Reaction bewerkstelligen. Der Apparat der belebten Materie ist aber so complicirt und noch so wenig durchforscht, dass es meist nicht gelingt, die Bilanz solcher Vorgänge zu ziehen.

Die physiologischen Reactionen bestehen aus einer Reihe von Vorgängen, deren Abgrenzung nach Ort und Zeit sowohl als auch gegen gleichzeitige andere physiologische Reactionen sehr selten durchführbar ist.

Im Allgemeinen können wir bei den physiologischen Reactionen örtliche und fortgeleitete Reactionen unterscheiden. Als örtliche Reactionen können wir alle Reactionen in den niedersten Organismen, welche keine ausgebildeten Organe haben, ansehen, ebenso die analogen Reactionen in den reizbaren Elementartheilen höherer Organismen, wie z. B. den Leukocyten.

Als fortgeleitete Reactionen müssen wir diejenigen Vorgänge in Folge eines Reizes ansehen, welche nicht an dem Orte des Reizes selbst vor sich gehen, wie z. B. die Ausbreitung von Reizbewegungen der höheren Pflanzen, die durch die Circulation vermittelst Ausbreitung des Kältereizes und die durch das Nervensystem vermittelten Reflexe und psychischen Reactionen bei höheren Thieren.

27. Das Licht als Reiz. Das Licht wirkt als Reiz auf gewisse Bestandtheile des lebenden pflanzlichen und thierischen Gewebes. Das Gewebe ist lichtempfindlich (1. 2. 3. 4). Das Sonnenlicht sowohl in seinen täglichen, jährlichen und klimatischen Schwankungen, als auch das Licht irdischer Lichtquellen sind von Einfluss auf den Verlauf des Lebensprocesses.

Die Wirkungen des Lichtreizes hängen von der Quantität (Inten-

sität und Dauer) und der Qualität (den Farben) des wirkenden Lichtes einerseits, anderseits von der Eigenart der belichteten Substanz, ihrem Absorptionsvermögen und ihrem Reactionsvermögen ab. Der Lichtreiz ruft in der belebten Materie an den von ihm betroffenen Stellen Veränderungen chemischer und physikalischer Natur hervor, welche ihrerseits wieder den Gesammtstoffwechsel und das Wachsthum der Organismen, auch der höheren, beeinflussen können.

Der Lichtreiz kann je nach der Natur des wirkenden Lichtes und der Eigenart der gereizten Materie eine nothwendige Bedingung lebenswichtiger Vorgänge (Chlorophyllbildung, Blutbildung) sein; er kann ein Eingriff sein, welcher lebenswichtige Vorgänge stört oder unterdrückt (Tötung von Bakterien; Nekrotisirung der Haut); er kann schliesslich ein Eingriff sein, welcher die Lebensvorgänge nur innerhalb physiologischer Grenzen beeinflusst (Beschleunigung der Athmung).

Der Lichtreiz hat aber auch seine Bedeutung darin, dass er unter Umständen die betreffenden Organismen auch empfänglicher für Reize anderer Art macht (chemische, electrische, thermische, mechanische Reize). Umgekehrt sind die anderen Reize von Einfluss auf die Empfänglichkeit des Organismus für den Lichtreiz.

Im Grossen und Ganzen werden wir die photophysiologische Reaction von demselben Gesichtspunkte aus betrachten können, wie die photochemische: dass das Licht die Substanzen reactionsfähiger macht, dass in Folge davon chemische Vorgänge ausgelöst werden, seien es nun Zerlegungen, Umlagerungen oder Verbindungen.

Achtes Kapitel.

Specielle Photophysiologie der Pflanzen.

28. Wirkungen bei niederen Pflanzen. Bei den niedersten Pflanzen, den pflanzlichen Mikroorganismen kommt der Einfluss des Lichtes durch drei Wirkungen zur Beobachtung. Es beeinflusst die Bewegungen, das Wachsthum und die Fortpflanzung derselben.

Verschiedene Arten der Gattungen Pinnularia und Navicula (Algen, Bacillariaceen) stellen im Dunkeln ihre Bewegungen ein. Das rothe Licht wirkt am meisten belebend, dann folgt Grün, Blau, am schwächsten wirkt Violett. Der Vorgang hat folgende Ursache: Zur Ausführung der Bewegungen ist das Vorhandensein von Sauerstoff nothwendig. Im Lichte produciren diese Organismen den Sauerstoff selbst, im Dunkeln aber nicht. Daher tritt Stillstand der Bewegungen in Folge von Sauerstoffmangel ein.

Bacterium photometricum (5) bewegt sich nur im Licht, und kann zu photometrischen Untersuchungen verwandt werden. Der belebende Einfluss des Lichtes beruht nicht auf Sauerstoffwirkung, das Bacterium ist überhaupt nicht im Stande im Lichte Sauerstoff auszuscheiden. Negative Helligkeitsschwankungen rufen „Schreckbewegungen" hervor, positive nicht. Eine besondere Vorliebe besitzt das Bacterium für Ultraroth; sehr starkes Licht wirkt beruhigend. Schwärmsporen werden ebenfalls durch das Licht gereizt und dadurch veranlasst dasselbe entweder auf-

zusuchen (positiver Heliotropismus) oder zu fliehen (negatives Heliotropismus). Hierbei sind vorwiegend wirksam die stark brechbaren Strahlen. Die Intensität dieser Wirkungen hängt von den gleichzeitigen Temperaturen ab (6. 7).

Von den Einflüssen, welche das Licht auf das Wachsthum und die Fortpflanzung niederster Pflanzen ausübt, kommt besonders die hemmende Wirkung auf die Entwickelung der Bacterien in Betracht.

Tuberkel-, Typhus-, Diphtherie-, Cholera-, Milzbrand-Bacillen und noch viele andere Krankheitserreger werden vom Lichte geschädigt oder vernichtet (8). Hierauf beruht zum Theil die Bedeutung des Lichts für die Hygiene. Wir werden darauf noch zurückkommen (Kap. 10). Am wirksamsten sind die stark brechbaren violetten und ultravioletten Strahlen. Schon schwache Belichtung wirkt entwicklungshemmend. Mit steigender Intensität des Lichtes nimmt die bactericide Wirkung zu. Das Medium, in welchem sich die Bakterien befinden, ist von Wichtigkeit, besonders sein Gehalt an Sauerstoff. Es bekommt durch die Belichtung desinficirende Eigenschaften, grossen Theils durch die Entwickelung von Ozon oder Wasserstoffsuperoxyd. Doch werden auch isolirte Bacterien getödtet. Die bactericide Wirkung des Lichtes beruht nicht auf Wärmewirkung. Nicht die ultrarothen, sondern die ultravioletten Strahlen sind die wirksamsten. Jedoch ist der Effect der Belichtung desto stärker, je höher die begleitende Temperatur ist, ganz wie auch bei anderen Wirkungen des Lichtes.

29. Von allergrösster Bedeutung ist der Einfluss des Lichtes auf die höheren Pflanzen.

Der Einfluss des Lichtes auf die Bewegungen und das Wachsthum der höheren Pflanzen macht sich in den Erscheinungen des Heliotropismus geltend (9). Da die höheren Pflanzen festgewachsen sind, können sie nicht, wie die Mikroorganismen, motorischen Lichtreizen durch freie Ortsveränderung folgen.

Am meisten Aehnlichkeit mit der Phototaxis niedrer Organismen zeigt der Wechsel, welchen das Licht in der Stellung der Chlorophyllkörner mancher Blätter hervorruft. Bei schwacher Beleuchtung wird der Lichtquelle die grösste Fläche des Chlorophyllkornes zugekehrt, also möglichst viel Licht aufgefangen. Bei sehr starker Beleuchtung wird dem Lichte die schmalste Seite der Chlorophyllkörner zugekehrt, also möglichst wenig Licht aufgefangen. — Einen gleichen Erfolg hat das Verhalten mancher Blätter, welche Fläche bei schwacher Beleuchtung senkrecht, bei starker Beleuchtung parallel zu den einfallenden Lichtstrahlen stellen.

Aehnlich ist es mit den Schlafbewegungen (10) der Pflanzen. Meist finden dieselben Abends bei abnehmenden Lichte statt; in Gegenden mit sehr starken Strahlung aber gerade bei zunehmendem Lichte Mittags. Die Schlafstellungen der Blumen und Blätter sind sehr verschiedene, sie haben entweder den Erfolg, starke Abkühlung oder den, starke Verdunstung bezw. Verbrennung der Pflanzen zu verhüten.

Diese Bewegungsvorgänge haben also Schwankungen in der Intensität des Lichtes zur Ursache (nyktitropische Bewegungen). Sie gehen grösstentheils in besonderen Bewegungsorganen vor sich und be-

ruhen auf einseitiger Verstärkung oder Verminderung des Tugors im Gewebe, also osmotische Vorgänge. Wir haben hier mechanische Wirkungen des Lichtes, möglicherweise auf chemischen Vorgängen beruhend.

Merkwürdig ist, das diese periodischen Vosgänge, welche zweifellos von den Schwankungen der Lichtintensität hervorgerufen werden, auch noch in denselben Perioden, freilich in schwächerem Maasse sich abspielen, wenn die Pflanze dem Lichte entzogen wird. (Nachwirkung) (10).

Die mechanische Wirkung constanten Lichtes kommt zum Ausdrucke bei der Beeinflussung der Wachsthumsrichtung der Pflanzen, welche man auch als Heliotropismus im engeren Sinne bezeichnet (11). Die Axen der Zweige u. s. w. der meisten Pflanzen wachsen in der Riahtung des einfallenden Lichtes (positiver Heliotropismus). Dieser Vorgang beruht auf zweierlei Ursachen. Erstens darauf, dass die dem Lichte zugekehrte Seite eines Stengels weniger turgescent wird, als die entgegengesetzte, schon ehe die Krümmung sichtbar wird. Dadurch biegt sich die Axe in der Richtung der Strahlen. Aber der Heliotropismus tritt auch bei schlauchförmigen einzelligen Gebilden (Mucor, Pilobolus, Physiomyces) auf (12). Hier kann der Turgor nicht die Ursache sein. Da kommt nun die zweite Ursache in Frage, dass nämlich die dem Lichte abgewandte Seite der Zweige, Stengel u. s. w. ein rascheres Wachsthum zeigt, als die zugewandte. Ausgewachsene Organe zeigen überhaupt keinen Heliotropismus mehr.

Die Krümmungsgeschwindigkeit heliotropischer Organe nimmt bis zu einem gewissen Optimum der Intensität des Lichtes zu, um dann wieder abzunehmen und in manchen Fällen bei immer gesteigerter Belichtung in eine entgegengesetzte Krümmung (negativen Heliotropismns) umzuschlagen.

Manche Pflanzenorgane zeigen überhaupt negativen Heliotropismus, d. h. richten sich nach der dem einfallenden Lichte entgegengesetzen Seite; so sind die älteren Internodien des Epheu (Hedera helix) negativ, die jüngeren positiv, die Weinranken sind negativ heliotropisch.

Das Etiolement beruht ebenso wie theilweise der Heliotropismus darauf, dass das Wachsthum der Pflanzen im Dunkeln eine Beschleunigung erfährt. Lässt man Pflanzen im Dunkeln austreiben (z. B. Kartoffeln, Blumenkohl, Bleichsellerie) oder bringt man das obere Ende eines wachsenden Zweiges in's Dunkele, während ein für die Ernährung hinreichender Theil im Lichte bleibt, so erreichen die Internodien eine ungewöhnliche Länge, während die Verholzung und die Cuticularisirung der Zellmembranen und auch die Bildung des Blattgrün unterbleibt. Für alle diese Vorgänge sind nur die Strahlen hoher Brechbarkeit wirksam. Eine Lösung von doppelt chromsaurem Kali lässt die schwächer brechbaren Strahlen von Roth bis zur Mitte des Grün, eine Lösung von Kupferoxydammoniak die stärker brechbaren Strahlen von Blau und Violett durchgehen. Lässt man das Licht durch die erstere Lösung „filtrirt“ auf die Pflanze wirken, so verhält sie sich ganz wie eine etiolisirende (abgesehen davon, dass sie Chlorophyll bildet); lässt man es durch die zweite Lösung „filtrirt“ auf die Pflanze wirken, so

erfolgt starke heliotropische Krümmung und geringeres Wachsthum der Internodien.

30. Einfluss des Lichtes auf die Assimilation der Pflanzen. Die soeben besprochenen Bewegungs- und Wachsthumserscheinungen der Pflanzen haben aber zur Bedingung, dass der Pflanze innere Energie zur Verfügung steht, welche sie für ihr Wachsthum verwenden kann. Bei der Lieferung dieser inneren, chemischen Energie spielen die chlorophyllhaltigen Pflanzen eine im Haushalte der Natur ganz einzig dastehende Rolle, dadurch, dass sie allein im Stande sind grosse Mengen chemischer Energie zu liefern, indem sie mit Hülfe des Lichtes aus anorganischen Stoffen (Wasser und Kohlensäure H_2O,CO_3) organische Stoffe, zunächst Kohlehydrate ($C_6H_{10}O_5$) bilden unter Abspaltung von Sauerstoff ($5H_2O + 6CO_3 = C_6H_{10}O_5 + 18O$).

Diese photochemische Reaction kann man wohl als einen der wichtigsten Vorgänge in der belebten Natur bezeichnen. Es findet dabei eine ganz bedeutende Aufspeicherung chemischer Energie statt, während alle anderen physiologischen Vorgänge direct oder indirect auf die durch diesen Process gebildete Energie angewiesen sind. Diese Energie wird ausschliesslich durch das Licht und ausschliesslich durch Vermittelung des Chlorophylls geliefert. Sie stellt das Kräfte-Reservoir der gesammten Pflanzen- und Thierwelt (Nahrung) und der Industrie (Feuerung) dar.

Das Chlorophyll (15). Die chemische Zusammensetzung des Chlorophylles ist noch nicht ermittelt; wesentlich scheint sein Gehalt an Eisen zu sein. Bemerkenswerth ist, das Chlorophyllsubstanzen bei der Destillation mit Zinkstaub Pyrrol ergeben, also zu dieser Substanz in naher Beziehung zu stehen, ebenso wie der Blutfarbstoff der Thiere und Menschen. Auch zeigt das aus dem letzteren gewonnene Hämatoporphyrin mit dem aus dem Chlorophyll gewonnenen Phylloporphyrin grosse Aehnlichkeit, so dass ein Zusammenhang der Constitution der Blut- und Pflanzenfarbstoffe, welche auch in ihrer Function Analogie zeigen, wahrscheinlich ist. Das Chlorophyll lässt sich durch Aether, Alkohol u. s. w. ausziehen. Die Lösung ist grün und zeigt tiefe blutrothe Fluorescenz (16). Das Chlorophyll zeigt ein charakteristisches Absorptionsspectrum: eine starke einseitige Absorption des brechbaren Theiles des Spectrums von der Linie F an und 4 Streifen zwischen B und F. Bei verschiedenen Concentrationen lassen sich noch Einzelheiten unterscheiden. Das Chlorophyll ist in der Pflanze meist an geformte Theile (Chlorophyllkörper) des Protoplasma gebunden, nur selten, z. B. bei manchen niederen Algen (Pleurococcus etc.) ist der ganze Plasmaleib der Zelle mit Ausnahme der Hautschicht grün gefärbt. Diese Chlorophyllkörner nehmen verschiedene charakteristische Gestalten und Stellungen ein und sind beweglich (vergl. Seite 40) 17. 18). Der Chlorophyllfarbstoff hat zu seiner Entstehung sowohl, als zu seiner Function und Erhaltung das Licht nöthig. Nur bei wenigen Pflanzen (Keimpflanzen vieler Nadelhölzer, Farnkräuter) kann er sich überhaupt im Dunkeln ausbilden. Im Allgemeinen ist die Einwirkung des Lichtes für das Ergrünen nothwendig und nimmt letzteres mit der Intensität des Lichtes zu. Doch wird es durch Licht zu hoher Intensität in kurzer Zeit vollständig zerstört. Das Chlorophyll ist also ein hochgradig licht-

empfindlicher Körper, und das zeigt sich vor Allem auch in seiner eigentlichen Function: der Bildung von Kohlenhydrate und Wasser und Kohlensäure.

Dieser Vorgang, die Assimilation (19) findet nur unter Einwirkung des Lichtes statt. Nothwendig ist naturgemäss auch die Anwesenheit von Kohlensäure und Wasser. Die Kohlensäure wird von den Blättern aus der Luft (bei Wasserpflanzen aus dem Wasser) aufgenommen. Als Product der Assimilationsprocesse sieht man einerseits Sauerstoff aus der Pflanze entweichen. Dieser entweichende Sauerstoff kann als Maass der Assimilation benutzt werden. Anderseits sieht man Stärke in den Blättern sich bilden. Diese Stärke wird dann weiter transportirt, um irgendwo im Organismus als Kraftquelle zu dienen. Im Dunkeln findet der Assimilationsprocess überhaupt nicht statt, es genügt aber schon ganz schwaches, diffuses Licht, um ihn in Gang zu setzen (19). Thatsächlich wird im Assimilationsprocesse ein so kleiner Procentsatz der bestrahlenden Energie in Arbeit umgesetzt, dass schon eine geringe Absorption zur Deckung der Betriebskraft ausreicht, und jeder Spectralbezirk der Sonnenstrahlung bietet weit mehr Energie als für die intensivste Kohlensäureassimilation nothwendig ist. Die wirksamen Strahlen vertheilen sich auf das ganze sichtbare Spectrum, den ultrarothen und ultravioletten Strahlen kommt höchstens eine ganz minderwerthige Bedeutung dabei zu (19).

Die Intensität der Wirkung der einzelnen assimilirenden Spectralbezirke ist wahrscheinlich für verschiedene Pflanzen verschieden. Sie zeigt aber deutliche Beziehungen zur Absorption des Chlorophylls. Das geht auch daraus hervor, dass Licht, welches schon eine genügend dicke Chlorophyllschicht, z. B. ein Blatt passirt hat, auf ein zweites darunter liegendes Blatt nicht mehr wirkt (20). Es sind ihm eben gerade die wirksamen Strahlen entzogen (Erschöpfung der Strahlen).

Die Assimilation ist ein reiner photochemischer Process. Ueber die Einzelheiten seines Verlaufes wissen wir nichts. Auch darüber, in welcher Weise das Chlorophyll dabei eingreift, wissen wir nichts Näheres. Jedenfalls dient es zur Aufnahme der wirksamen Strahlen (21). Ob es aber nur diese Function hat, also gewissermaassen nur ein optischer Sensibilisator (s. o. S. 31) ist, oder ob es auch direct chemisch an dem Assimilationsprocesse bethätigt ist, bleibt unentschieden (22).

Es kommt in der Pflanzenwelt noch eine grosse Reihe anderer Farbstoffe vor, welche dem Chlorophyll nach Entstehung und Function nahestehen. Eine besondere Rolle spielen hier die zahlreichen Farbstoffe, welchen die Blumen ihre Farbenpracht verdanken. Während zur Entstehung des Chlorophylls die Strahlen des sichtbaren Spectrums nothwendig sind, verdanken die Blüthenfarbstoffe ihre Entstehung und Erhaltung ausschliesslich den ultravioletten Strahlen (23).

Schliesslich sei noch bemerkt, dass bei chlorophyllhaltigen Pflanzen auch die Verdunstung durch Belichtung wesentlich gefördert wird (24, 25).

31. Die Athmung der Pflanze (9). Während in der Assimilation die Pflanze eine synthetische Leistung aufweist, welche den Stoffwechselvorgängen des Thieres entgegengesetzt ist, verläuft ein gleichzeitiger chemischer Process in der Pflanze der ersteren entgegen, den Stoffwechselvorgängen des Thieres parallel; es ist die Verbrennung eines Theils des gebildeten Energievorrathes unter Bindung von Sauerstoff und unter Production von Kohlensäure und Wasser. Die Athmung stellt die Verwerthung des durch die Assimilation geschaffenen Energievorraths dar; sie findet fortwährend statt. Am Tage jedoch tritt sie hinter der Assimilation zurück, so dass trotz der fortwährenden Zersetzung ein Ueberschuss an neugebildeter organischer Substanz gebildet wird und eine stetige Zunahme des Trockengewichtes der Pflanze erfolgen kann. Im Dunkeln dagegen erfolgt nur die Athmung und dadurch entsprechende Verminderung der Trockensubstanz.

Wie bei allen bisher besprochenen Vorgängen, an denen das Licht bethätigt ist, zeigt sich auch bei den botanischen, dass hohe Temperaturen meist die verschiedenen Wirkungen des Lichts begünstigen, niedere sie hindern.

Neuntes Kapitel.

Specielle Photophysiologie der Thiere.

32. Die Eigenart thierischer Reactionen. Während für die Pflanzenwelt eine maassgebende Rolle des Lichtes nachgewiesen ist, sind die Einflüsse des Lichtes auf die Thierwelt viel weniger systematisch klar gelegt, wenn auch seine Wirksamkeit an und für sich nicht zu bestreiten ist. Es fehlt hier noch sehr an Untersuchungen, welche von den zwei Cardinalpunkten ausgehen: 1. welche Strahlen absorbirt das thierische Protoplasma? 2. welche Wirkung haben die einzelnen Strahlengruppen, welche das thierische Protoplasma absorbirt? Es sind hierbei jedoch nicht nur die Strahlen des sichtbaren Spectrums zu beachten, sondern auch die Ultrastrahlen, ganz besonders die ultravioletten. Solche fundamentale Versuche im weitesten Umfange sind desto nothwendiger, als die grosse Complicirtheit der thier-physiologischen Reactionen überhaupt (unmittelbare, fortgeleitete, reflectorische und psychische Wirkungen) und die unvermeidliche Einwirkung verschiedener gleichzeitiger Reize (Licht, Wärme, Verdunstung, Druck u. s. w.) die Analyse der beobachteten thier-physiologischen Wirkungen des Lichtes sehr erschweren. Immerhin erlaubt das bisher vorliegende Material den Nachweis, dass das Licht auf den thierischen Körper sowohl direct, als auch indirect (reflectorisch, psychisch) einwirkt. Scharfe Grenzen zwischen diesen verschiedenen Wirkungen sind nicht immer zu ziehen. Doch tritt überall die Wirkung des Lichtes als Reiz, welcher die Thätigkeit der betroffenen Elemente, Organe oder Systeme des Thierkörpers anregt, deutlich, zum Theil messbar hervor. Ebenso deutlich tritt hervor, dass dieser Reiz ebenso seinen eigenen physikalischen und chemischen Gesetzen unterworfen ist, welche seine Wirksamkeit begründen und begrenzen, wie die anderen Reize.

Man kann bei den Thieren ebenso wie bei den Pflanzen zwei Hauptformen der Reaction auf den Lichtreiz unterscheiden: Die mechanische Reaction, das ist eine Aenderung der äusseren Energie, z. B. Bewegungserscheinungen, und die chemische Reaction, das ist eine Aenderung der inneren Energie, z. B. Stoffwechselvorgänge.

33. Phototaxis und Heliotropismus der Thiere. Die Beobachtungen, welche über den motorischen Einfluss des Lichtes auf frei bewegliche niederste Pflanzen gemacht wurden (Phototaxis, vergl. voriges Kapitel) wiederholen sich ganz analog bei den niedersten Thieren (26, 27, 28, 29). Ebenso findet der richtende Einfluss des Lichtes auf das Wachsthum (Heliotropismus) der höheren Pflanzen seine Analogie in dem Einflusse des Lichtes auf die Wachsthumsrichtung der im Wasser lebenden festgewachsenen Thiere (Polypen u. s. w.). Es giebt Thiere, welche durch das Licht orientirt werden, und zwar derart, dass sie gezwungen werden, sich in der Richtung der Lichtstrahlen zu stellen. Es ist das eine Erscheinung, deren Analoga auch andere Kräfte hervorbringen. So zwingt z. B. der galvanische Strom manche Thiere (z. B. Froschlarven) sich in der Richtung des Stromes einzustellen (30). Je nachdem der Kopftheil dem Lichte zu- oder abgewendet ist, nennt man die Thiere positiv oder negativ heliotropisch. Bei festsitzenden Thieren, z. B. Hydroidpolypen, kommt dabei heliotropische Krümmung zu Stande, wie bei den festgewachsenen Pflanzen. Die beweglichen Thiere führen Progressivbewegungen aus, und diese führen die positiv heliotropischen der Lichtquelle zu, die negativ heliotropischen von der Lichtquelle ab. Dies beruht wahrscheinlich darauf, dass das Licht, ebenso wie bei den Pflanzen die Spannung des Gewebes beeinflusst, sodass eine geradlinige Bewegung erst dann stattfindet, wenn das Thier auf beiden Seiten gleich stark beleuchtet, also in der Richtung der Lichtstrahlen eingestellt ist. Sehr wichtig ist nun, dass der Verlauf dieser heliotropischen Erscheinungen von begleitenden Umständen abhängig ist. So ist der Sauerstoffgehalt der Umgebung von Einfluss. Paramaecium bursaria reagirt bei genügendem Sauerstoffzufuhr durchaus nicht auf Licht; bei ungenügender Sauerstoffzufuhr reagirt es sehr scharf und lebhaft auf Aenderung der Beleuchtung. Bei Sauerstoffüberschuss flieht es das Licht. Am stärksten wirkt Roth (5). Analog dieser Erscheinung, welche auf chemische Processe als Ursache der photomechanischen Wirkungen schliessen lassen, sind die Einflüsse, welche die Temperatur auf heliotropische Thiere äussert. Polygordiuslarven kann man durch Temperaturerhöhung regelmässig negativ heliotropisch (26) durch Abkühlung regelmässig positiv heliotropisch machen. Wirksam ist die absolute Höhe der Temperatur, nicht ihre Schwankung. Bei + 7° C. war auch das stärkste Sonnenlicht nicht im Stande, die Larven negativ heliotropisch zu machen. Durch Erhöhung der Concentration des Seewassers erhielt man denselben Erfolg, wie durch Herabsetzung der Temperatur und umgekehrt.

Anderseits giebt es auch Thiere, welche auf Schwankungen der Lichtintensität reagiren. Planaria torva z. B. wird durch Abnahme der Lichtintensität zur Ruhe, durch Zunahme zur Bewegung gereizt, und sammelt sich daher in dem dunkelen Theile an.

Mit diesen verhältnissmässig einfachen Vorgängen hat die grössere oder geringere Neigung höherer Thiere zum Lichte eigentlich nur eine äussere Aehnlichkeit. Denn hier kommt ein viel complicirterer Mechanismus in Betracht, in welchem reflectorische und psychische Vorgänge eine Rolle spielen. Eine Mittelstellung zwischen den rein reflectorischen Vorgängen bei den niedersten Thieren und den complicirten Vorgängen bei den höheren Thieren, die mit einem hoch organisirten Auge und Gehirn ausgestattet sind, bilden die Vorgänge bei complicirten augenlosen Thieren (31) wie z. B. beim Regenwurm. Der Regenwurm besitzt kein Auge. Er hat jedoch offenbar über die ganze Haut verbreitet eine ziemlich hochgradige Empfindlichkeit für das Licht, welche auch bei decapitirten Regenwürmern beobachtet wird, und sich dadurch äussert, dass er das Helle flieht, das Dunkele aufsucht. Er ist aber auch farbenempfindlich. Helles Roth wirkt bei ihm wie Dunkel, Blau und in noch höherem Grade Ultraviolett wie helles Weiss. Er ist in hohem Grade ultraviolettscheu, besitzt also ein Orientirungsvermögen, das anderen höheren und mit Gesichtssinn begabten Thieren vollständig abgeht.

Doch auch bei manchen erst künstlich ihrer Augen beraubten Thieren zeigt sich Aehnliches. So zeigt der Molch (Triton vulgaris) eine grosse Abneigung gegen Licht, besonders kurzwelliges, auch nachdem er geblendet ist.

Die mit vollem Gesichtssinn begabten Thiere, bei denen das Licht nicht nur als Kraft und Reiz, sondern auch als der Uebermittler eines Bildes der Umgebung sich geltend macht, empfangen durch dasselbe Impulse so complicirter Natur, dass sich ihre Wirkungen weder untereinander, noch mit den bisher besprochenen unter einen Gesichtspunkt bringen lassen.

34. Der Einfluss des Lichtes auf die innere Energie der Thiere, ihren Stoffwechsel und ihr Wachsthum beruht auf sehr verschiedenartigen, meist sehr complicirten und auch in ihren Anfängen noch wenig studirten Vorgängen. Es soll im Folgenden versucht werden, vom Einfachen zum Complicirten fortschreitend, einen Begriff von denselben zu geben.

Von grösster Bedeutung ist es, dass wir sichere Anzeichen dafür haben, dass das Licht auf elementare thierische Gebilde und auf Gruppen solcher als ein Reiz wirkt, welcher die Stoffwechselvorgänge, den chemischen Umsatz, beschleunigt. Eine solche Steigerung des Stoffwechsels könnte man schon indirect da schliessen, wo das Licht, wie bei den Protozoen eine gesteigerte Bewegung der Organismen veranlasst. Diese Bewegung kostet Energie, und falls nicht etwa das Licht selbst diese Energie liefert, so muss eben der Stoffwechsel sich steigern, um mehr Energie herzugeben.

Wir haben aber auch andere directe Beweise dafür. So ist es nachgewiesen, dass die Gewebe, besonders der Muskeln, auch nach ihrer Trennung von übrigen Organismen, im Lichte mehr Kohlensäure produciren, als im Dunkeln, solange sie nicht abgestorben sind (32—38). Besonders lehrreiche und den practischen Fragen nahe kommende Versuche verdanken wir Quinke (39). Er hat gezeigt, dass das verschiedenartigste Gewobeparenchym Eiter, Muskel-, Nieren-, Leber-,

Hirn- u. s. w. Brei im Lichte mehr Sauerstoff absorbirt als im Dunkeln, solange die Zellen noch lebensfähig sind. Diese Wirkung kommt der Zelle, nicht der Intencellularsubstanz (Serum, Bindegewebe u. s. w.) zu.

Seine Versuche zerfallen in zwei Serien. In der einen vermischte er die Versuchsobjecte mit Bismutum subnitricum. Dieses wurde von den Gewebszellen reducirt, aber nur im Lichte. In der zweiten Versuchsserie vermischte Quincke die Versuchsobjecte mit arteriellem Blute. Das Blut wurde von denselben sowohl im Dunkeln als auch im Hellen reducirt, aber im Hellen ganz bedeutend schneller. Die Reductionsgeschwindigkeit geht der Lichtintensität parallel. Am wirksamsten sind die stark brechbaren Strahlen. — Wir haben hier also photochemische Processe, welche einerseits eine vollkommene Parallele zu den photographischen Processen zeigen, der Reduction der Metallsalze im Lichte bei Gegenwart organischer Substanzen, andererseits eine ebenso vollkommene Parallele zu den physiologischen Processen, der Bindung von Sauerstoff durch das Protoplasma, und der Lieferung eben dieses Sauerstoffes durch das Hämoglobin. Man kann sich kaum eine andere Combination denken, welche im gleichen Maasse geeignet wäre, den Gedankengang, welchem wir bei den verhältnissmässig einfachen photochemischen Processen gefolgt sind, auf die verwickelten physiologischen Verhältnisse zu übertragen, und uns das Princip der physiologischen Lichtwirkung anschaulich zu machen. Auf dasselbe Princip: Vermehrung des vitalen chemischen Processes, des Sauerstoffverbrauches, der Kohlensäureausscheidung, der Energieentwickelung durch das Licht stossen wir nun auf Schritt und Tritt. Es macht sich bald in förderndem, bald in schädlichem Sinne geltend.

Ein Mittelglied zwischen den Elementartheilen des Organismus und höher aufgebauten Einheiten desselben bietet das Ei und der Embryo.

Bei Fröschen (40) wurde beobachtet, dass Tages- und Sonnenlicht ein energischer Reiz für die Contractionen des Eiprotoplasmas ist und durch diese bei künstlicher Lageänderung der Eier das Pigment stets nach der belichteten Seite derselben hinübergeschoben wird.

Die Entwickelung der Embryonen (41, 33, 42) findet im weissen Lichte bedeutend rascher statt, als im Dunkeln, rothe und grüne Strahlen scheinen schädlich zu sein, die brechbareren Strahlen befördern die Entwickelung besonders stark. Es ist daher garnicht so unwahrscheinlich, dass das violette Licht intensiver wirkt, wie das weisse. Dasselbe gilt für die Eier der Schweissfliege (Musca carnaria). Ebenso geht die Entwickelung der Embryonen und Larven (Maden, Kaulquappen) in den brechbareren Lichtstrahlen rascher vor sich als im Dunkeln und im rothen und grünen Lichte, aber es sterben auch die Kaulquappen ohne Nahrung im violetten und blauen Lichte rascher als in dem andersfarbigen. Das im Körper verfügbare Material wird also schneller aufgebraucht.

Wir werden sehen, dass sich dieser Einfluss des Lichtes auch im hochorganisirten ausgewachsenen Organismus wiederfindet. Da hier jedoch ein complicirtes Zusammenspiel vieler Organe stattfindet, seien zunächst einige Beobachtungen über die letzteren mitgetheilt.

35. Der Einfluss des Lichtes auf isolirte einzelne Organe und ihre Theile (36). Es hat sich herausgestellt, dass isolirte Muskeln, solange sie als überlebend betrachtet werden können, im Lichte eine grössere Kohlensäureausscheidung zeigen, als im Dunkeln. Ihr Gewebe selbst wird also vom Lichte chemisch angeregt, ihr Stoffwechsel beschleunigt. Die im Dunkeln ausgeschiedene Kohlensäure verhielt sich zu der im Hellen auageschiedenen bei Froschmuskel wie 100 : 170; bei Kaninchenmuskel wie 100 : 177; bei Hundemuskel wie 100 : 141; also ganz gewaltige Unterschiede. Ein ähnlicher Einfluss, wenn auch in geringerem Grade, ergab sich für das Gehirn und Rückenmark der Säugethiere. Im Mittel der Versuche verhielt sich die im Dunkeln ausgeschiedene Kohlensäure zu der im Hellen ausgeschiedenen wie 100 : 127. Dem entspricht auch eine erhöhte Reizbarkeit des Rückenmarkes und der Nerven und erhöhte Leistungsfähigkeit der Muskeln im Lichte (43. 44).

Die verschiedenen Theile des lebenden Organismus, besonders der höheren Thiere, sind dem Einflusse des Lichtes in sehr verschiedenen Graden ausgesetzt. Absorptionsvermögen für das Licht und die dunkelen Strahlen besitzen zwar alle Theile des Thierkörpers. Doch ist das Absorptionsvermögen der einzelnen Theile für die verschiedenen Spectralbezirke recht verschieden. Sie sind farbig transparent, ihre Farben aber sind verschieden. Diejenigen Farbencomponenten, welche nicht gleich von den äusseren Schichten absorbirt werden, dringen also in's Innere ein, und es ist nicht gesagt, dass sich darunter nicht auch solche Farben befinden, welche auf die inneren Organe wirken könnten. Die damit zusammenhängenden Fragen nach der specifischen Absorption der einzelnen Organtheile für helle und dunkele Strahlen sind leider noch viel zu wenig geklärt.

35. Die Haut ist derjenige Theil des Organismus, welcher den Wirkungen des Lichtes am unmittelbarsten ausgesetzt ist. Die Haut ist an und für sich durchgängig für Lichtstrahlen. Silbersalze in geschlossenen Glasröhrchen unter die Haut eingeführt, werden bei Belichtung die Körper photochemisch verändert (45, 46). Die Haut besitzt jedoch Organe, welche ihre Zugänglichkeit sehr wesentlich beeinflussen, und deren Entwickelung wiederum vom Lichte abhängig ist. So ist die Haut sehr vieler Thiere durch Befiederung oder Behaarung dem Einflusse des Lichtes zum Theil entzogen. Das Licht aber ist von Einfluss auf die Entwickelung der Behaarung. Diese ist bei Tage stärker als Nachts, im Sommer stärker als im Winter (47, 48). Ebenso wird das Wachsthum der Nägel befördert, und überhaupt die Verhornung der Epidermis. Die Keratinbildung aus protoplasmatischer Substanz stellt einen Reductionsprocess dar, welcher offenbar durch die Wirkung des Lichtes stark gefördert wird (49). Die Haut wird daher an den dem Lichte ausgesetzten Stellen derber und härter.

Man kann aber auch noch eine andere Reaction der Haut auf das Licht beobachten, welche von grossem Einflusse auf ihre Transparenz ist, und welche in den unverhornten Schichten ihren Sitz hat. Bei gesteigerter Belichtung einer Hautstelle beginnt eine Reaction der Haut (50, 51), welche vom einfachen Erythem (Fluxion) alle Stufen des gesteigerten örtlichen Stoffwechsels bezw. der Entzündung bis zur

Exsudation und Nekrose durchlaufen kann. Der Vorgang hat eine gewisse Aehnlichkeit mit der Hitzewirkung, wird aber nicht durch die Wärmestrahlen, sondern ganz besonders durch die ultravioletten hervorgerufen. Daran ist das Blut wesentlich betheiligt. Das kann man erstens aus analogen Vorgängen schliessen, bei denen man das Verhalten des Blutes direct beobachten kann (s. u. Finsen), dann aber auch daraus, dass der Process allemal eine bedeutende Pigmentirung der Haut hinterlässt; das Pigment aber hat seinen Ursprung im Blutfarbstoffe (39. 49).

Die Pigmentirung der Haut können wir als eine der charakteristischsten Reactionen derselben auf den Lichtreiz ansehen (Einbrennen der Haut). Sie spielt eine wesentliche Rolle bei der Hautfärbung der menschlichen Rassen und stellt eine Anpassung der Haut an die Intensität der Bestrahlung dar, der dieselbe ausgesetzt ist. Denn die Pigmentirung bildet einen relativen Schutz derjenigen Bestandtheile des Organismus, welche auf das Licht sehr heftig reagiren, insbesondere wohl auch des Blutes. Statt vieler Beispiele, welche dies beweisen, sei hier ein sehr einleuchtender Versuch Finsen's (51) erwähnt. Er malte sich mit Tusche einen schwarzen Strich auf die Haut des Armes und setzte ihn dann 3 Stunden lang der Sonnenstrahlung aus. Die geschützte Stelle blieb unverändert, die übrige Haut wurde Sitz eines intensiven Erythems, welches Pigmentirung hinterliess. Als nun Finsen nach einiger Zeit den Arm ohne Tuschestreifen wieder der Insolation aussetzte, entstand ein Erythem nur an der vorher getuschten, jetzt nicht pigmentirten Stelle, während die jetzt durch natürliches Pigment geschützte Haut intact blieb. Dies Experiment giebt uns in nuce ein Bild der Lichtwirkungen auf den Organismus überhaupt; es zeigt uns seine Anpassung an den Lichtreiz einserseits, die Ursachen und Folgen seiner Entwöhnung anderseits. Das wirksamste Princip sind hierbei nicht die dunklen Wärmestrahlen, sondern die stark brechbaren, besonders die ultravioletten Strahlen (51). Wir werden darauf bei der Besprechung pathologischer Zustände noch zurückkommen.

Bei den niederen augenlosen Thieren bildet die Haut auch das Sinnesorgan für das Licht. Sie reagiren deutlich auf das Licht und haben vor höheren Thieren sogar das voraus, dass ihr Lichtsinn sich auch auf das Ultraviolette erstreckt (s. o. S. 46), wie z. B. beim Regenwurme. Auch bei manchen Thieren, welche mit Augen begabt sind, bewahrt die Haut ihr Empfindungsvermögen für das Licht. So reagiren auch geblendete Frösche und Salamander auf Lichtreiz. Eine besondere Rolle spielen bei Thieren mit starkem Lichtsinne der Haut (photodermatische Empfindung) besondere Organe, die sogenannten Pigmentflecken, welche das Licht stark absorbiren, und dessen Wirkung dem nervösen Apparate mittheilen. Solche Erscheinungen finden sich in den verschiedensten Modificationen bei sehr vielen Thieren vor. Ein klassisches Beispiel ist das Chamäleon (52). Wird ein Chamäleon, nachdem es, wie gewöhnlich im Dunkeln, eine apfelgrüne Farbe angenommen hat, plötzlich der Wirkung des Sonnenlichtes ausgesetzt, jedoch so, dass der hintere Körpertheil durch ein blaues, der vordere durch ein rothes Glas beleuchtet wird, so wird die Haut des Thieres (53) unter dem blauen Glase plötzlich dunkelgrün durch Verbreiterung der

Pigmentzellen, unter dem rothen bleibt es lange Zeit unverändert. Hier haben wir also eine örtliche photophysiologische Reaction, aber wahrscheinlich unter Betheiligung des nervösen Reflexapparates. Denn ganz ähnliche Vorgänge können auch vom Auge ausgelöst werden. Für den Mechanismus solcher Reactionen sehr lehrreich ist das Verhalten der Bohrmuschel (Pholas dactylus). Dieselbe reagirt sehr prompt auf Lichtreize (54) durch Zusammenziehung ihrer Heberöhre (Siphon). Diese Reaction beruht auf der Thätigkeit zweier Muskelgruppen. Die eine Gruppe stellt die unmittelbare Fortsetzung pigmentirter Epithelzellen dar. Fällt auf diese Licht, so erfolgt eine Contraction dieser Muskelgruppen. Diese Contraction giebt ihrerseits den mechanischen Reiz ab für die Nerven, welche den eigentlichen mächtigen Muskelapparat der Heberöhre zur Contraction bringen. Ganz analoge, direct lichtempfindliche Organe finden wir in der Iris der Fische und Amphibien wieder (55), die Chromatophoren, es sind das pigmentirte Muskelfasern, die aber nicht als Pigmentzellen im engeren Sinne, sondern nach Gestalt, Grösse, feinerer Structur und Funktion als pigmentirte glatte Muskelfasern aufzufassen sind. Sie erhalten vom Lichte direct motorische Impulse.

Bei den höheren Thieren scheint die Haut ihre Function als Sinnesorgan für das Licht und das Ultraviolett mehr und mehr einzubüssen. Sie behält dagegen ihren Sinn für die Wärmestrahlen. Für die Lichtempfindung tritt das Auge ein, der Sinn für Ultraviolett geht seltsamer Weise verloren, trotz der zweifellos grossen Wirksamkeit dieser Strahlengattung.

36. Das Auge. Die vergleichende Anatomie zeigt uns die Entstehung des eigentlichen Gesichtssinnes aus dem allgemeinen Lichtsinne der Haut (56). Das primitivste Auge (Amphioxus) ist nichts weiter als eine in einem Pigmentflecke endende Nervenfaser, und hat vielleicht nur eine quantitativ grössere Lichtempfindlichkeit vor den anderen Nervenendigungen der Haut voraus. Wir haben dann im Thierreiche eine ununterbrochene Kette der Entwickelung dieses Organs bis zum vollständigen Auge, das im Stande ist, uns ein Bild der näheren und weiteren Umgebung zu übermitteln, und das bei Weitem empfindlichste und am weitesten reichende Organ der Thierwelt darstellt. Aus unmessbarer Ferne anlangende unmessbare kleine Energiemengen (Licht der Sterne) regen dasselbe noch an. Es soll hier nicht der optische Theil dieser Vorgänge besprochen werden. Uns interessiren vielmehr die Veränderungen, welche das Licht auf und durch das Auge bewirkt. Wir haben auch hier motorische und chemische Effecte der Wirkung zu unterscheiden. Auf die Iris wirkt das Licht als motorischer Reiz und zwar direct auf die pigmentirten Muskelfasern (57).

Eine merkwürdige mechanische Wirkung hat das Licht auch auf die Retina (58), die Zapfeninnenglieder derselben verkürzen sich nämlich unter Einwirkung des Lichtes und verlängern sich im Dunkeln. Welche Rolle diese Reaction beim Sehen spielt, ist noch nicht aufgeklärt. Ganz besonders merkwürdig ist es, dass diese Zapfenreaction auch in dem nicht belichteten anderen Auge eintritt, ja dass sie bei Fröschen bei ausschliesslicher Belichtung der Körperhaut auf

beiden Augen eintritt. Hier ist also die Haut das lichtempfindliche Organ, dessen Erregung der Opticus auf die Retina reflectirt.

Als chemische Wirkung des Lichtes auf das Auge kennen wir speciell die photochemische Zersetzung (59) der Sehpurpurs, welche geradezu ein photographisches Bild auf der Retina hervorruft, und offenbar in directer Beziehung zur Gesichtsperception steht. Ueber den Chemismus dieses Vorganges und seine Wirkungen sind wir jedoch im Unklaren. — Eine practisch sehr wichtige Thatsache ist es, dass das Auge keine Empfindung für die dunkelen Strahlen hat. Die ultravioletten Strahlen werden durch die durchsichtigen Medien des Auges zwar stark absorbirt, sodass vielleicht wenige davon zur Retina gelangen (60). Für das Ultraroth sind jedoch sowohl Hornhaut als Linse, Kammerwasser, Glaskörper sehr durchlässig; das Unvermögen Ultraroth zu sehen. muss also von der Beschaffenheit der Netzhaut abhängen (61).

37. Das Blut (62). Neben der Haut, und in Gemeinschaft mit dieser spielt offenbar das Blut eine Rolle bei den photophysiologischen Vorgängen. Man kann das Blut als ein circulirendes Organ bezeichnen. Als solches ist es in seinen Elementen bald der Belichtung ausgesetzt, bald entzogen. Für die Absorption des Lichtes spielt es eine hervorragende Rolle. Der physiologisch wichtigste Bestandtheil des Blutes hat ein ganz charakteristisches Spectrum, und zwar ein anderes, wenn es reichlich Sauerstoff gebunden hat (Oxyhämoglobinspectrum), ein anderes nachdem die reducirenden Substanzen des Organismus ihn des Sauerstoffes beraubt haben (Spectrum des reducirten Hämoglobins), und diese Absorption zeigt bei allen Thiergattungen eine ganz überraschende Uebereinstimmung. Das Hämoglobin zeigt auch eine charakteristische Absorption für Ultraviolett (63), eine Thatsache, welche sehr der weiteren Aufmerksamkeit werth ist. Seine Function ist, wie wir wissen, hauptsächlich die, in der Lunge Sauerstoff aufzunehmen, diesen leicht zu binden, um ihn dann im Gewebe wieder abzugeben. Auf dem Verlauf dieser Function beruht ganz wesentlich der Verlauf der wichtigsten Stoffwechselvorgänge, der Oxydation. Wir haben gesehen (s. o. S. 47), dass das Hämoglobin seinen Sauerstoff bei Belichtung schneller abgiebt, wir haben auch gesehen, dass dementsprechend unter dem Einfluss des Lichtes die Stoffwechselvorgänge energischer verlaufen; wir haben gesehen, dass an Stellen, wo starke photochemische Reactionen stattgefunden haben, das Blut auch Spuren seiner intensiven Thätigkeit in der Form von Pigment zurücklässt. Dementsprechend ist das Licht auch von Einfluss auf die Bildung des Hämoglobins (64). Bei mangelndem Lichte entsteht schliesslich Anämie. Gyllencreutz (65) stellte fest, dass die eigenthümliche grüngelbliche Gesichtsfarbe, welche unter dem Einflusse der Polarnacht entsteht, objectiver Natur und mit einer Veränderung des Hämoglobinspectrums verbunden ist.

38. Die inneren Organe. Das Licht tritt, wie man sich bei Durchleuchtungen überzeugen kann, tief in das Gewebe des Organismus ein (45. 46). Nun könnte man zwar annehmen, dass auf diesem Wege das Licht seiner wirksamen Strahlen beraubt wird, und dass es daher nicht im Stande ist, auch auf die inneren Organe noch eine wesentliche Wirkung auszuüben. Da aber manche inneren Organe einen ganz specifischen chemischen Charakter (Gehirn, Leber) und also wahrschein-

lich auch ein ganz specifisches Absorptionsvermögen für das Licht und die dunkelen Strahlen haben, ist es doch garnicht unwahrscheinlich, dass das eindringende Licht für sie auch direct wirksam sein kann. Auch sprechen manche Beobachtungen dafür, dass solche directe Wirkungen vorkommen, wie z. B. bei Sonnenstich, welcher durch Einwirkung der Strahlung auf das Schädeldach schwere cerebrale Erscheinungen hervorruft. Doch fehlt es leider noch sehr an exacten Untersuchungen über diese Frage, sodass man vorläufig nicht im Stande ist, sich hierüber ein ausreichendes Urtheil zu bilden.

38. Fortgeleitete Wirkungen des Lichtes. Die Organe, welche direct lichtempfindlich sind, reagiren nicht nur selbst, sondern sie sind auch im Stande, vermittelst des nervösen Apparates und der Circulation auf andere Organe oder auf den gesammten Organismus zu wirken. Recht auffällige Erscheinungen sind die vom Auge veranlassten Verfärbungen der äusseren Haut. So wird beim Chamäleon, wenn man es eines Auges beraubt (52), die ganze entsprechende Körperhälfte heller; bei Octopus ruft Belichtung Eines Auges intensive Färbung der entsprechenden Körperhälfte hervor. Weniger auffallend, dafür aber desto wichtiger für den Haushalt des Organismus ist der Einfluss des Auges auf den Stoffwechsel (66. 67. 68). Das belichtete Auge als solches vermehrt den Sauerstoffverbrauch und die Kohlensäureausscheidung des Organismus, befördert also den Stoffwechsel. Versuche Platen's an Kaninchen ergaben durchschnittlich das Verhältniss des im Dunkeln verbrauchten Sauerstoffes zu dem im Hellen verbrauchten = 120,4 : 190,6. Das Verhältniss der im Dunkeln producirten Kohlensäure zu der im Hellen producirten = 85,6 : 97,9. Dementsprechend erleiden Frösche, die ohne Nahrung sind, einen geringeren Gewichtsverlust, wenn sie der Augen beraubt sind, als die sehenden. Hungernde Tauben starben im Hellen am 15. im Dunkeln am 29. Tage (69. 70). Bei wohlgefütterten Thieren entspricht dem ein erhöhter Fettansatz im Dunkeln, welcher sich in sehr erheblichem Maasse geltend machen kann (71) (Mästung der Thiere im Dunkeln). Die Athmung wird im Lichte tiefer, im Dunkeln oberflächlicher (72). Wenn nun auch nachgewiesen ist, dass diese Reactionen von dem Auge allein ausgelöst werden können, so ist es anderseits auch sicher, dass die Haut allein bei Belichtung ebenfalls anregend auf den Stoffwechsel einwirkt. Denn auch augenlose Thiere reagiren auf das Licht mit ihrem Stoffwechsel. Moleschott's Experimente (67) ergaben, dass die Kohlensäureausscheidung unter dem Einflusse des Lichtes steigt, und dass das Licht bei Säugethieren nicht blos durch das Auge, sondern auch durch Vermittelung der Haut, bei dem Frosche nicht blos durch die Haut, sondern auch durch Vermittelung der Augen wirkt. Welche Rolle dabei die Nerven, welche das circulirende belichtete Blut spielt, wissen wir nicht.

Als einen interessanten, vom Lichte durch Vermittlung der Haut ausgelösten Reflex haben wir oben (S. 50) die Bewegung der Stäbchen der Retina bei ausschliesslicher Belichtung der Haut erwähnt.

Sehr Vieles, aber wenig Genaues liesse sich sagen über den Einfluss des Lichtes auf den Organismus durch Vermittelung der Psyche. Man soll sich jedenfalls dadurch, dass man ganz ausser Stande ist,

diesen Einfluss zu messen, nicht verführen lassen, ihn zu unterschätzen oder zu leugnen. Das Licht und die Farben, sowie die Bilder, welche sie uns übermitteln, sind ganz zweifellos von grösster Bedeutung für das gesammte „Befinden" des Organismus, das sich in Lust- und Unlustgefühl äussert. Das gilt vom einfachen Helligkeitswechsel bei Tag und Nacht sowohl, als von der verschiedenen Helligkeit der Klimate, welche auf Laune und Temperament, Arbeitslust und Ruhebedürfniss ihren directen Einfluss ausüben. Es gilt aber schliesslich ebenso von den complicirtesten und höchsten Empfindungen, die der Anblick einer schönen Natur, eines edlen Kunstwerkes in uns hervorruft.

IV. Phototherapie.

Zehntes Kapitel.

Photohygiene. Die Bedeutung des Lichtes für die Erhaltung der Gesundheit.

39. Die Einwirkung des Lichtes auf die Umgebung des Menschen. Für die Gesundheit des Menschen kann das Licht nicht nur durch directe Einwirkung auf den Körper des Menschen von Bedeutung werden, sondern auch durch Einwirkung auf die Umgebung des Menschen. Dadurch, dass das Licht Veränderungen in der Atmosphäre, insbesondere Ozonbildung veranlasst, kann es möglicherweise auf die Gesundheit wirken. Doch wissen wir hierüber nichts Genaueres. — Es soll hier nicht die Rede sein von dem grossen Einfluss, welchen das Licht indirect durch die Vegetation, die ihm ihre Existenz verdankt, auf die Lebensbedingungen des Menschen ausübt. Von directer Bedeutung aber für die Verhütung von Krankheiten ist der schädliche Einfluss des Lichtes auf das Leben der Mikroorganismen. — Zahlreiche Versuche mit Reinculturen haben ergeben (1), dass die meisten Spaltpilze, insbesondere auch die pathogenen, in ihrem Wachsthum durch das Licht rasch geschädigt, bezw. vernichtet werden, je nach der Dauer und Intensität der Belichtung. Am wirksamsten scheinen im Allgemeinen die ultravioletten Strahlen zu sein. Buchner wies nach, dass Typhusculturen schon durch 10 Minuten währende Exposition im directen Sonnenlichte nachweisbar geschädigt, durch 1—1½ stündige abgetödtet werden; diffuses Tageslicht tödtet sie in 5 Stunden. Die Geschwindigkeit der Abtödtung ist jedoch abhängig nicht nur von der Qualität und Quantität des Lichtes, sondern auch von der Art der Mikroorganismen und des Nährbodens (3). Ueberall aber wurde ein schädigender Einfluss des Lichtes gefunden. Die Beobachtungen sprechen dafür, dass auch in der freien Natur der Sonnenschein seine desinficirenden Eigenschaften geltend macht und dadurch die Ansteckungsgelegenheit für die Menschen verringert (4). Darauf beruht wahrscheinlich grösstentheils die „Selbstreinigung" der Flüsse und Seen, das heisst das spontane Verschwinden von Ansteckungsstoffen im offenen Wasser (2. 5). Aber auch die Keime in der Luft werden vom Lichte getödtet (6). Hiermit hängt es wohl zusammen, dass die Luft hochgelegener Orte, welche der Strahlung viel stärker ausgesetzt sind (7), wie die in der Ebene liegenden, einen sehr geringen Bakteriengehalt zeigt (Davos). Auch

der Einfluss der Sonnenscheindauer auf das Entstehen von Infectionskrankheiten hängt hiermit zusammen.

Die Bedeutung des Lichtes für die Wohnungshygiene beruht auch nicht nur in seiner directen Einwirkung auf den Menschen, sondern auch in seiner desinficirenden Eigenschaft. Allerdings wirken da auch noch andere Factoren mit. So macht sich ein indirecter Einfluss genügender Lichtzufuhr in Wohnräumen geltend, welche darin beruht, dass dadurch die Reinlichkeit und meist auch die Ventilation gefördert wird.

Es fragt sich nun, ob und in welcher Weise das Licht als Desinfectionsmittel inficirter Gegenstände practisch in Betracht kommt. Da hat sich allerdings herausgestellt (8), dass das Licht eben nur so weit wirkt, als es in die inficirten Gegenstände eindringt, und das ist bei den meisten Gegenständen nur eine geringe Tiefe. v. Esmarch, dem wir diese Untersuchungen verdanken, schliesst daraus, „dass wir in der Sonnenbestrahlung ein brauchbares Desinfectionsmittel für die Praxis nicht besitzen."

40. Die directe Wirkung des Lichtes auf den Menschen. Zur Erhaltung seiner Gesundheit bedarf der menschliche Organismus einer Lichtzufuhr, welche qualitativ und quantitativ sich in der Grenze derjenigen Verhältnisse bewegt, denen er durch Vererbung und eigene Gewöhnung angepasst ist. Wenn auch der Einzelne sich Aenderungen dieser Verhältnisse in ziemlich weitem Maasse anpassen kann, so dürfen sie doch nicht gewisse obere und untere Grenzen überschreiten, ohne Uebelbefinden oder gar vorübergehende oder dauernde Störung der Gesundheit hervorzurufen.

Gesteigerte Lichtzufuhr kann entweder der Sonne oder künstlichen Lichtquellen entstammen. Besonders wirksam ist das elektrische Bogenlicht, nicht nur wegen seiner grossen Intensität, sondern auch, weil es sehr reich an ultravioletten Strahlen ist (s. o. S. 25), welche von besonderer Wirksamkeit auf das Gewebe sind.

Sehr zu bedauern ist es, dass über die unzweifelhaft sehr grossen Schwankungen des ultravioletten Spectrums der Sonnenstrahlung je nach Tages- und Jahreszeit, nach geographischer Lage (Klima) und der Witterung keine systematischen Aufzeichnungen existiren. So lange hier nicht Wandel geschaffen wird, ist es ganz unmöglich jemals etwas sicheres über den Einfluss der meteorologischen Verhältnisse auf das Gedeihen und die Rassenbildung von Menschen, Thieren und Pflanzen auf ihr vegetatives Verhalten und auf ihre Krankheiten zu sagen. Der nachweisbar grosse Einfluss dieser Strahlung berührt die Heilkunde auf das Stärkste.

Eine Lichtbestrahlung, welche das gewohnte Maass überschreitet, kann das Befinden der Menschen schädigen. Dies kommt z. B. bei empfindlichen Individuen in Betracht, welche sich sogenannten Sonnenbädern unterziehen. Es wird da ein Erythem der Haut begleitet von Fiebererscheinungen und allgemeinem Unwohlsein beobachtet (9), das zweifellos durch die ungewohnte Bestrahlung verursacht wird (Febris erythematosa). Es können aber auch viel stärkere örtliche Reactionen entstehen (10. 11). Gesteigerte Bestrahlung der Haut ruft immer Erythem gefolgt von Pigmentbildung hervor (Erythema solare). Einen

höheren Grad der pathologischen Wirkung des Lichtes stellt ein Ekzem dar, das bis zur Bildung grosser Blasen und zur Nekrose führen kann. Dasselbe entsteht sehr leicht im Gebirge, besonders auf Schneefeldern und auch in den Tropen (Ekzema solare). Es tritt jedoch oft auch überraschend in anderen Gegenden auf. Offenbar hängt es vom Gehalt der Strahlung an ultravioletten Strahlen ab, welche eine besondere Wirksamkeit in dieser Richtung zeigen. Einzelne Individuen sind besonders empfindlich, manche dauernd. Meist tritt ein gewisser Grad von Gewöhnung ein, wenn sich ein Individuum häufig solcher Strahlung aussetzen muss. Diese geht Hand in Hand mit Bräunung der Haut. Ganz dieselben Erscheinungen kann in sehr heftiger Weise das electrische Bogenlicht hervorrufen (Ekzema photoelectricum) (12).

Ebenso ist solche Strahlung im Stande eine Ophthalmie hervorzurufen (12—15) (O. solaris. O. photoelectrica), welche ihren Sitz aber nicht in der Retina, sondern in den durchsichtigen vorderen Medien des Auges hat, welche das Ultraviolett stark absorbiren.

In allen diesen Fällen sind nachgewiesener Maassen die ultravioletten, nicht die Wärmestrahlen wirksam. Die Reaction entspricht auch nicht derjenigen auf Hitzewirkung. Charakteristisch ist, dass die Entzündung der Haut erst einige Zeit (Stunden) nach der Bestrahlung eintritt, und dass sie von starker Pigmentirung gefolgt ist.

Ob der eigentliche Sonnenstich (nicht zu verwechseln mit Hitzschlag, der sicher auf Wärmestauung beruht) eine ähnliche lokale Wirkung der Strahlung auf das Gehirn darstellt, lässt sich zur Zeit nicht entscheiden.

Ebenso ist es noch unentschieden, welche Rolle die Strahlung bei klimatischen, insbesondere Tropenkrankheiten spielt. Dazu fehlen uns, wie gesagt, leider fortlaufende spectrale meteorologische Beobachtungen.

Diese Fragen verdienen jedoch die höchste Beachtung. Allgemein ist die Beobachtung gemacht worden, dass solche Krankheiten sehr häufig unmittelbar nachdem der Patient unvorsichtiger Weise sich der tropischen Sonne ausgesetzt hatte, ausbrachen. Wie sehr die Strahlung in den Tropen gefürchtet wird, ergiebt sich daraus, dass in manchen Gegenden sogar die Weissen sich scheuen, sich der Mondstrahlung ohne Kopfbedeckung auszusetzen.

41. Verminderte Lichtzufuhr. Ueber die Wirkung verminderter Lichtzufuhr auf den Menschen haben wir keine so reinen Beobachtungen, wie über die Wirkungen erhöhter Strahlung. Denn wenn ein Mensch lange Zeit dem Sonnenlichte entzogen ist, sei es etwa als Gefangener im Dunkelarrest, als Bergmann, als Nordpolfahrer, so befindet er sich meistens unter Verhältnissen, welche auch sonst die Entfaltung seiner Lebensenergie beeinflussen. Bei Pferden, die dauernd tief unten im Bergwerke sich aufhalten, ist es sicher erwiesen, dass sie sehr lange im Dunkeln existiren und arbeiten können (16). Für den Menschen giebt es meines Wissens keinen Parallelversuch. Doch zeigt sich überall da, wo der Mensch thatsächlich längere Zeit dem Lichte ganz entzogen ist, Anämie, z. B. bei Polarfahrern, Gefangenen im Dunkelarrest und meist allgemeine körperliche und psychische Depression. Nach Allem dem, was wir über das Licht als Reiz wissen, dass es die Oxydation im Körper steigert, dass Dunkelheit sie herabsetzt, entspricht

dies Verhalten auch nur der Erwartung. Ebenso ist es recht wahrscheinlich, dass nicht nur absoluter Lichtabschluss, sondern auch dauernd ungenügende Lichtzufuhr die Blutbildung und den allgemeinen Stoffwechsel schädigt. Fügen wir hinzu, dass besonders für die normale Entwickelung junger wachsender Individuen das Licht von wesentlichem Einflusse ist (17a), so werden wir uns dem dringenden Verdachte nicht verschliessen können, dass ein Theil der Stadtkrankheiten und der verhältnissmässig kurzen Lebensdauer der Städter zum Theile auch auf die ihm eigene mangelnde Lichthygiene zurückzuführen ist. Besonders diejenigen Krankheiten, deren Zusammenhang mit ungenügendem Stoffwechsel auf der Hand liegt, Chlorose, Rachitis, Scrophulose und schliesslich Tuberculose behandeln wir ja mit Vorliebe dadurch, dass wir den Städter hinaus auf's Land schicken.

Die specielle Schädigung des Gesichtssinnes durch zu viel oder zu wenig Licht gehört nicht in den Rahmen dieser Abhandlung. Das Nöthige findet sich in jedem ophthalmologischen Lehrbuch.

Schliesslich sei noch erwähnt, dass nicht nur eine ungewöhnliche Steigerung oder Herabsetzung der Strahlung an und für sich, sondern auch der Mangel des gewohnten Wechsels zwischen Tag und Nacht, zwischen bewölktem und hellem Himmel lästig empfunden wird. Es leiden nicht nur die Polarfahrer bei der langen Nacht und den langen Tagen oft an Reizzuständen und Insomnie, sondern es kommt auch in Gegenden, über denen ein „ewig blauer Himmel lacht", wie mir von hochgeschätzter Seite mitgetheilt wird, in S.W.-Afrika (18) während dieser Zeit zu heftigen nervösen Zuständen, selbst zu Psychosen, auf welche die erste Bewölkung des Himmels erlösend wirkt.

42. Hygienische Schlussfolgerungen (19. 20). Was hat nun die Hygiene für praktische Folgerungen aus diesen Verhältnissen zu ziehen? Ein grosser Theil der wichtigsten Fragen wird vom Menschen instinctiv gelöst, indem er ebenso wie das Thier sich dasjenige Quantum von Licht nutzbar zu machen sucht, das er als wohlthätig empfindet. Nun ist aber unser Controllorgan für das Licht, das Auge, bei all seinen vortrefflichen optischen Eigenschaften recht mangelhaft für die Controlle der chemischen Wirkung des Lichtes: denn es besitzt keine Empfindung für Ultraviolett und auch die andern Empfindungsorgane sind stumpf dafür. So kommt es, dass wir uns in den Alpen oder Tropen einer Strahlung aussetzen, ohne zu ahnen, dass wir uns dadurch eine schwere Dermatitis und Ophthalmie zuziehen. Doch auch im umgekehrten Sinne versagt oft der Instinkt. Die socialen Verhältnisse unserer Städte erzeugen die Neigung zu immer engerem Beisammenwohnen, zu immer geringerer Zulassung von Licht. Die hygienische Wissenschaft hat also reichlich Gelegenheit sich zu bethätigen. In unserem Klima und unter unseren socialen Verhältnisse fällt ihr im Allgemeinen die Aufgabe zu, dafür zu sorgen, dass sich der Mensch dem Einflusse des Lichtes nicht mehr entziehe, als gut ist. In anderen Klimaten, besonders den Tropen, hat sie mehr die Gefahren zu intensiver Strahlung zu bekämpfen.

Dass die Wohnungen um nicht geradezu gesundheitsschädlich zu sein, ein gewisses Minimum von Licht empfangen müssen, ist eine For-

derung, die die Hygiene aus den mannigfachsten Gründen schon längst anerkannt hat. Aber sehr schwer ist es, diese Bedeutung des Lichtes als Lebensfrage auch dem Publikum klar zu machen, besonders in den Städten, wo sie ganz besonders wichtig ist. Es ist ja in letzter Zeit in dieser Hinsicht von den Hygienikern Vieles, besonders auf baupolizeilichem Wege durchgesetzt worden. Doch bleibt da noch Vieles zu thun. Nicht nur in den Kellerwohnungen und Dienstmädchen-Verschlägen der grossen Städte; selbst in den Wohnungen besserer Stände lässt das Verständniss für die lebenswichtige Kraft des Lichtes noch Vieles zu wünschen übrig. Als Beispiele führe ich nur an die vielfach beliebte Mode, in den Wohnungen auch am Tage die Fenster durch Fenstergardinen zu verdunkeln, und die sehr mangelnde Neigung so vieler Städter, sich täglich wenigstens einmal eine Stunde im Freien zu ergehen. — Ganz besonders scheinen unter diesen Verhältnissen die Kinder zu leiden. Der günstige Einfluss der Sommerfrischen (Feriencolonien) ist, wie schon das starke Einbrennen der kleinen Patienten beweist, von einer sehr starken Wirkung des Lichtes auf die lichtentwöhnte Haut begleitet. Man sollte daher nie vergessen bei beginnender Störung der Gesundheit von Erwachsenen sowohl, als auch ganz besonders von Kindern, sich zu überzeugen, ob dieselben auch unter ausreichenden photohygienischen Verhältnissen leben, oder nicht. Die Lage der Wohnungen lässt sich ja meist nicht nach Belieben aussuchen. Doch ist die oft übertriebene Verdunkelung durch Fenstervorhänge und die unzweckmässige Verwendung der Räume (das hellste Zimmer kleiner Wohnungen ist oft als „gute Stube" dem eigentlichen Familienleben entzogen) eine Ursache mangelhafter täglicher Belichtung. Auch müssten vor Allem Kinder, aber auch Erwachsene täglich regelmässig eine angemessene Zeit im Freien zubringen. Die Vernachlässigung dieser nothwendigen Maassregeln rächt sich empfindlich.

Die Beurtheilung der Helligkeit eines Raumes ist nicht leicht. Die Hygiene hat hierfür gewisse Messmethoden gefunden, welche diesem Zwecke mehr oder minder entsprechen. Im Allgemeinen wird sich der Arzt auf den Augenschein beschränken. Das hat eine gewisse Berechtigung, da das Auge unser Organ für Lichtcontrolle ist. Biologisch sind aber die ultravioletten Strahlen, die das Auge nicht empfindet, von grösster Wichtigkeit. Es wäre daher sehr wünschenswerth, dass die Aerzte sich öfters der photographischen Photometrie bedienten, eines sehr einfachen Verfahrens, welches die Wirkung des Lichtes auf photographisches Papier feststellt (21).

In südlicheren Klimaten, besonders in den Tropen, muss die Hygiene häufig gerade für einen genügenden Schutz der Wohnungen vor der Strahlung Sorge tragen; doch hat es sich auch dort gezeigt, dass ungenügend belichtete Wohnungen ungesund sind.

Die Kleidung. Unsere gebräuchliche Kleidung ist für Lichtstrahlen, insbesondere für Ultraviolett durchgängig (22). Lichtempfindliches Papier wird auch unter der Kleidung durch das Licht gebräunt. Der Mensch ist also auch bekleidet am ganzen Körper wirksamer Strahlung ausgesetzt, und die Wirkung der Strahlung auf den Körper lässt sich durch die Wahl der Stoffe und ihrer Farben beliebig reguliren und auch sehr gut durch photographisches Papier controlliren. Dieser Um-

stand wird hygienisch noch viel zu wenig gewürdigt. Man ist im Stande solchen Personen, welche unter mangelhafter Belichtung leben, z. B. chlorotischen Stadtkindern, eine grössere Strahlungsmenge zugänglich zu machen und zwar ohne jede Verletzung des Schicklichkeitsgefühles und selbst der Mode, indem man zu ihrer Bekleidung solche Stoffe und solche Farben wählt, welche die Strahlung im Allgemeinen, und die stark brechbaren Strahlen im Besonderen gut durchgehen lassen.

Man kann aber auch solchen Personen, welche übermässiger Strahlung ausgesetzt sind, besonders Europäern in den Tropen einen besseren Schutz in der Kleidung verschaffen als bisher. Bowler (23) erzählt eine sehr lehrreiche Geschichte von einem englischen Officier in Indien. Derselbe litt sehr unter der Sonnenstrahlung. Er kam auf den sehr richtigen Gedanken seine hellen Kleider und seinen Tropenhelm mit orangefarbenem Futter zu versehen, welches die stark brechbaren Strahlen absorbirte. Er fühlte sich dann vollkommen wohl. Seine Kameraden hielten das für eine Schrulle, und nahmen ihm ohne sein Wissen das Futter aus dem Helm. Sobald er in die Sonne kam, wurde er krank. Boubnoff (22) schlug vor, für die Tropen weisse Kleider mit schwarzem Futter einzuführen. Das Weiss reflectirt viele Strahlen, das Schwarz absorbirt die eindringenden. Es wäre sehr zu wünschen, dass diese sehr rationell erscheinenden Vorschläge in grösserem Umfange geprüft würden.

Um die örtliche Wirkung allzustarker Strahlung abzumindern oder überempfindliche Personen zu schützen, wendet man farbige Brillen, farbige Schleier und deckenden Salbe an. Besonders bei Gletscherpartieen und in den Tropen sind derartige Vorsichtsmaassregeln für Ungewöhnte nothwendig.

Elftes Kapitel.

Allgemeine Phototherapie. Mittel und Wege zur Anwendung oder zur Einschränkung des Lichtes bei der Behandlung von Krankheiten.

43. Die Nothwendigkeit physikalischer Reize. Unserer Kultur wohnt eine gewisse Neigung inne den Menschen durch Kleidung, Wohnung und Lebensgewohnheiten mehr und mehr den natürlichen äusseren Reizen zu entziehen. Dass dies in vieler Beziehung gewiss grosser Vortheil ist, bedarf nicht des Beweises. Der Mitteleuropäer von heute wäre ja gänzlich ausser Stande ohne diese Hilfsmittel seine Gesundheit gegenüber den meteorologischen Einflüssen zu behaupten. Vielfach geht jedoch dieser Ausschluss zu weit, und weder der Instinct noch die Erkenntniss wissen immer das richtige Maass zu finden. Doch lässt sich nicht verkennen, dass beide in den letzten Jahrzehnten mehr und mehr auf eine erweiterte Anwendung solcher physikalischer Reizmittel zusteuern. In den breiteren Schichten des Volkes macht sich dies unter Anderem in einer gewissen Vorliebe für die „Naturheilverfahren“ gel-

tend; in der medicinischen Wissenschaft in der immer wachsenden Hochschätzung, welche die physikalischen Heilmethoden neben den anderen Heilmethoden geniessen. Bei solchen Vorgängen kommt es naturgemäss zu Conflicten zwischen sanguinischen Laien und Aerzten einerseits und der mit Recht allezeit skeptisch prüfenden Wissenschaft andererseits. Diese Sanguiniker haben auch ihre Verdienste; zur Einführung von Neuerungen gehören impulsive Naturen. Aber die Wissenschaft, welche langsamer und sicherer marschirt, behält schliesslich doch das entscheidende letzte Wort. Das haben wir z. B. bei der Hydrotherapie erlebt. Die Wunderkuren mit Wasser sind verschwunden, aber eine werthvolle Wasserheilkunde ist entstanden. So wird es auch mit dem Lichtheilverfahren gehen, welches sich jetzt gerade im Anfange dieses Entwickelungsprocesses befindet.

44. Die künstliche Vermehrung der Lichtzufuhr zur Behandlung von Erkrankungen. Eine vermehrte Zufuhr des Sonnenlichtes für Kranke ist ja eigentlich ein alt hergebrachtes Verfahren. Wenn man einem Kranken räth, viel an die „Luft" zu gehen, sei es, dass man ihn nur an seinem Wohnsitze viel im Freien liegen oder spazieren lässt, sei es, dass man ihn anderswo eine Kur gebrauchen lässt, so hat man dabei sicher nicht nur die Luft selbst als Heilmittel im Sinne, sondern ganz wesentlich auch den Sonnenschein. Vermehrte Sonnenstrahlung geniesst der Körper bei allen Luft-, Klima- und Badekuren; dass bei diesen die Anregung der Hautfunctionen durch das Licht eine hervorragende Rolle spielt, beweist die Bräunung, das Einbrennen der Haut, welches dabei zu Stande kommt. Pflegt man doch in den Städten dem zurückkehrenden Sommerfrischler sein Compliment über seine gesunde, braune Gesichtsfarbe zu machen. Als eigentliche klimatische Kurorte werden auch vielfach Orte mit starker Strahlung und reiner Luft, welche die Strahlung wenig absorbirt, mit Vorliebe aufgesucht. Kurorte, wie Davos z. B., verdanken ihren berechtigten Ruf neben der geschützten Lage ganz wesentlich ihrer starken Strahlung. Es ist sehr bedauerlich, dass wir über das Sonnenspectrum verschiedener Kurorte und seine Schwankungen, besonders in Bezug auf das Ultraviolett, keine zusammenhängenden Beobachtungen haben.

Die Badekuren, besonders im Freien, z. B. an der See, verbinden die anregende Wirkung des Wassers und Salzes mit der des Lichtes. Der ganze Körper brennt dabei ein, vorausgesetzt, dass nicht unzweckmässig undurchlässige Bade-Anzüge verwendet werden, und die Patienten empfinden nach solchen Bädern meistens ein stark gesteigertes Wohlbefinden und grossen Appetit. Von diesen Bädern im Sonnenschein ist zu den sogenannten Sonnenbädern (24) kaum ein Schritt. Man versteht darunter die methodische Besonnung des nackten Körpers. Dies kann geschehen indem die Patienten in mehr oder minder nacktem Zustande sich im Freien bewegen. Das Verfahren ist jetzt vielfach in Heilanstalten üblich und wird zweckmässig auch mit Brausen, Bädern u. s. verbunden. Dass diese Methode recht eingreifend ist, sieht man daran, dass einzelne ungewohnte Patienten mit einem fieberhaften Erythem darauf reagiren. Weniger gebräuchlich ist die Belichtung des nackten Körpers in geschlossenen Räumen.

Zur Belichtung einzelner erkrankter Hautstellen wird das concentrirte Sonnenlicht ebenfalls verwendet. Finsen (25. 26) versuchte es zu seiner Lichtbehandlung des Lupus (s. u.). Neuerdings hat Winternitz (27) Ekzeme erfolgreich dadurch behandelt, dass er sie, mit einem rothen Tuche bedeckt, dem Sonnenlichte aussetzte.

So wohlthätig nun auch das Sonnenlicht häufig wirken mag, so hat doch die Behandlung mit demselben auch ihre Nachtheile. Die Einwirkung der Sonnenstrahlung auf den ganzen Körper im Freien kann man in unserem Klima nur im Sommer durchführen. Und auch dann steht uns die Sonne oft genug nicht zur Verfügung. Es ist daher gar nicht möglich eine längere Kur in der Sonne streng durchzuführen. Man hat sich deswegen nach Surrogaten umgesehen.

Das electrische Bogenlicht ist gegenwärtig entschieden der leistungsfähigste Ersatz des Sonnenlichtes. Es hat nicht nur eine sehr grosse Intensität, es hat auch einen viel grösseren Gehalt an ultravioletten Strahlen als jedes andere Licht, selbst als das Sonnenlicht (s. o. S. 25). Wir haben schon oft erwähnt, dass gerade die ultravioletten Strahlen von starker Wirkung auf das lebende Gewebe sind. Es ist daher garnicht ausgeschlossen, dass wir, wenn wir erst einmal in unseren phototherapeutischen Erfahrungen weiter gekommen sind, finden werden, dass das electrische Licht in mancher Beziehung wirksamer ist als das Sonnenlicht. Das Bogenlicht hat den grossen Vorzug, dass es überall, wo electrische Beleuchtung eingeführt ist, immer zur Hand ist. Anderseits hat es freilich den Nachtheil recht theuer zu sein.

Es wird entweder mit einem Reflector versehen zu mehr oder minder ausgedehnter Bestrahlung des Körpers verwendet, oder man lässt es durch Linsen in einen Brennpunkt vereinigt auf eine Stelle der Haut wirken. Da aber bei diesem letzten Verfahren die concentrirten Wärmestrahlen zu einer Verbrennung der Haut führen würden, so muss das Licht vorher durch Wasser gehen, welches seine dunkelen Wärmestrahlen absorbirt. Ist auch dann noch die Wärmewirkung zu gross, so setzt man dem Wasser einen Farbstoff zu, welcher auch noch die weniger brechbaren Lichtstrahlen absorbirt und nur die brechbarsten: blau, violett, ultraviolett durchlässt. Die Sammellinsen jedoch müssen aus Bergkrystall hergestellt werden, welches das Ultraviolett gut durchlässt, während Glaslinsen dieses absorbiren würden. Nach diesen Gesichtspunkten ist Finsen's Apparat zur örtlichen Behandlung von Hautkrankheiten gebaut (25).

Auch die electrischen Glühlampen werden als Lichtquellen benutzt. Sie besitzen eine viel geringere Intensität und viel weniger stark brechbare Strahlen als das Bogenlicht. In welchem Grade bei ihnen specifische Lichtwirkung in Betracht kommt, ist noch unentschieden. Doch wäre es falsch, ihnen photochemische Wirkung ohne Weiteres absprechen zu wollen. Sie bräunen photographisches Papier und scheinen auch specifische subjective Empfindungen auszulösen. Jedenfalls sind sie ein ganz vorzügliches Mittel zur Schweisserzeugung.

Sie werden in Kästen, ganz ähnlich den Dampfschwitzkästen, innen an

der Wand angebracht. Die Temperatur im Innern wird an einem Thermometer controllirt und durch das Ein- und Ausschalten von Lampen regulirt. So stellen sie ein ausserordentlich gut functionirendes, reinliches und angenehmes Schwitzbad dar. Ob diesem specifische Wirkungen zukommen wissen wir noch nicht. Solche Glühlampenkästen werden auch mit Bogenlichtbestrahlung combinirt, ausserdem wird ihre Anwendung mit hydriatischen Proceduren verbunden. Auch zur örtlichen Bestrahlung wird das Glühlicht verwendet.

Andere Lichtquellen treten gegenüber dem so sehr handlichen electrischen Lichte ganz zurück.

45. Die künstliche Verminderung der Lichtzufuhr zur Behandlung von Krankheiten. Ziemlich bei allen fieberhaften Krankheiten hat der Patient eine instinktive Abneigung gegen grelles Licht. Starke Belichtung erzeugt ihm Kopfschmerzen, Uebelbefinden, selbst Temperatursteigerung. Es ist daher auch eine selbstverständliche alte Regel fiebernde Patienten dem hellen Lichte zu entziehen. Nach dem, was wir über die Wirkung des Lichtes auf den Gesunden wissen, dass es ein Reizmittel ist, nicht nur für das Auge, sondern für das ganze Gewebe, ist dieses Verfahren ja auch durchaus logisch. Eine besonders nachdrückliche Bestätigung erfährt diese Anschauung durch die Rolle, welche das Licht bei den Pocken spielt. Man wusste schon im Mittelalter, und Finsen (28) hat es neuerdings wieder bewiesen, dass die Eruption der Pocken durch die Belichtung wesentlich gefördert, häufig erst veranlasst, durch Verdunkelung dagegen gehindert wird. Hierbei sind wiederum nicht etwa die Wärmestrahlen, sondern die stark brechbaren, insbesondere die ultravioletten Strahlen wirksam. Finsen hat hierauf ein besonders phototherapeutisches Verfahren gegründet, in dem er Pockenkranke in ausschliesslich rothes Licht brachte.

Auch lokale Einschränkung des Lichtes ist manchmal indicirt. So ist bei Pocken, da wo man nicht den Kranken überhaupt dem Tageslichte entziehen konnte und wollte, mit Erfolg die entstellende Pockenbildung im Gesicht durch lichtdichte Bedeckung desselben verhindert worden. Veiel (29) heilte eine Patientin, welche an einem hartnäckigen Ekzema solare dauernd litt, dadurch, dass er sie einen rothen Schleier tragen liess.

Welche Rolle der Lichtausschluss bei Wundverbänden spielt, ob er die Heilung fördert oder nicht, und welche Rolle der lichtabschliessenden Wirkung mancher Salben und Pflaster zukommt, ist noch nicht allgemein festgestellt (30. 31).

Zwölftes Kapitel.

Specielle Phototherapie. Die Behandlung einzelner Krankheitsformen durch Licht.

Die Zeit ist noch lange nicht gekommen, wo eine specielle Phototherapie geschrieben werden kann. Bei jedem neuen Mittel, auch dem

einfachsten, vergehen Jahre, ehe man sich ein objectives und klares Bild seiner Verwendbarkeit und Wirksamkeit machen kann. Wo aber eine gewisse Leidenschaft der Ueberzeugung pro und contra mitspielt, wie das bei den Fragen der Lichttherapie der Fall ist, dauert es noch länger, ehe volle Klärung eintritt. Aber auch die Erfahrungen durchaus objectiver und zuverlässiger Autoren können nicht ohne Weiteres verwendet werden. Die einzelnen Erfolge darf man nicht verallgemeinern, und bei Misserfolgen ist die Frage berechtigt, ob sie durch Aenderung der Technik sich nicht vermeiden liessen. So sind die Indicationen für die Lichttherapie noch durchaus nicht abgegrenzt. Wir ziehen vor, nicht einzelne Berichte über Erfolge und Misserfolge hier herauszugreifen und nur eine kurze Skizze davon zu geben, in welcher Richtung sich die Phototherapie hauptsächlich zu bethätigen sucht.

46. Bei Allgemeinerkrankungen werden meist die Formen der allgemeinen Steigerung oder Beschränkung der Lichtzufuhr angewendet. Bei Krankheiten mit vorwiegend herabgesetztem Stoffwechsel kommt es darauf an, ob der allgemeine Kräftezustand noch ein derartiger ist, dass man sich von einer stimulirenden Behandlung Erfolg versprechen kann, oder ob der Kräfteverfall die äusserste Schonung nothwendig macht. In ersterem Falle wird häufig das Licht gemeinsam mit anderen Reizmitteln (Wasser, Salzbäder, Bewegung) als Roborans angewendet. Eine besonders grosse Rolle spielt es bei der Behandlung der Dyscrasien der Kinder, bei Scrophulose, Rachitis, Chlorose. Hier wird mit Vorliebe die Form der erhöhten Lichtzufuhr, welche mit Klima- und Badekuren verbunden ist, gewählt. Sommerfrische, Ferienkolonien, Süss- und Meerwasserbäder im Freien. Sehr schwächliche Patienten, die sehr lichtentwöhnt sind, vertragen jedoch häufig die gesteigerte Belichtung anfangs schlecht, sind stark angegriffen und haben Kopfschmerzen. Es empfiehlt sich da zunächst die Anwendung von Licht und Wasser im geschlossenen Raume. Die Anwendung künstlichen Lichtes ist indicirt, wo Witterung und Jahreszeit die Anwendung des Sonnenlichtes nicht gestatten.

Für chlorotische Erwachsene gelten ganz dieselben Gesichtspunkte.

Bei Phthisis incipiens ist die Luftkur, bei welcher ja immer die Strahlung eine ganz wesentliche Rolle spielt, ein Hauptmittel. Eine grosse Anzahl von Kurorten verdankt ihren Erfolgen ihren wohlberechtigten Ruf. Auch hier erscheint es angezeigt, die Sonnenkur durch künstliche Belichtung zu ergänzen. Bei fortgeschrittener Phthise unterliegt die Anwendung des Lichtes wohl im Allgemeinen denselben Contraindicationen, wie die Anwendung der anderen Stimulantia. Bei Kräfteverfall und Fieber sind solche meist zu verwerfen.

Bei Krankheiten mit Darniederliegen der nervösen Functionen, insbesondere Neurasthenie spielen ebenfalls klimatische Kuren, und dabei das Licht als Stimulans eine Rolle.

Bei Fettsucht sucht man die Oxydation wie mit anderen Reizmitteln, so auch unter Mitwirkung des Lichtes zu beschleunigen.

Bei Nephritis und Herzfehlern wird vor Allem die schweisstreibende Kraft der Glühlichtbäder geschätzt. Nach manchen Autoren

sollen diese den Patienten weniger angreifen, als andere Schwitzverfahren. —

Auch bei Gicht und chronischem Gelenkrheumatismus kommen dieselben vielfach zur Anwendung.

Bei Krankheiten mit vorwiegend gesteigertem Stoffwechsel und Fiebererscheinungen ist während des Fiebers die Lichtzufuhr zu beschränken, insbesondere die der stark brechbaren Strahlen. Man hält die Patienten meist im Bett im halbdunkelen Zimmer.

Auch bei Phthise in fortgeschrittenem Stadium tritt diese Nothwendigkeit ein. Man sollte, wenn man fortgeschrittene Phthisiker in ein möglichst reizloses mildes Klima schickt, auch darauf achten, welche Strahlung, insbesondere in Bezug auf die ultravioletten Strahlen, diesem Klima zukommt. Denn zweifellos kann sehr starke Strahlung gerade der unsichtbaren Strahlen den gewünschten Erfolg stark beeinträchtigen. Leider fehlt es uns aber noch an genügenden Messungen dieses so ausserordentlich wichtigen klimatischen Factors.

Besonders deutlich zeigt sich der schädliche Einfluss des Lichtes und der Nutzen seiner Einschränkung, wie schon oben erwähnt, bei den Pocken und deren Behandlung nach Finsen. Auch bei manchen Zuständen nervöser Erregung soll farbiges, also spectral beschränktes Licht wohlthuend wirken.

47. Lokale Erkrankungen werden in der Regel durch lokale Erhöhung oder Einschränkung der Lichtzufuhr behandelt.

Beim Auge machen acute Entzündungen meist absoluten oder relativen Lichtausschluss nöthig (Dunkelzimmer, Compressen, farbige Brillen). Doch wird neuerdings den allgemeinen Lichtbädern eine mächtige, Resorption befördernde Wirkung bei chronischen Entzündungen der Sklera, Iris, Chorioidea und Retina nachgerühmt.

Bei Hautkrankheiten findet das Licht vielfach Verwendung. Ein grosser Theil der Phototherapeuten geht dabei von der Anschauung aus, dass das Licht im Gewebe direct bactericid wirke. Ob das richtig ist bleibt noch zu beweisen, man kann die beobachteten Wirkungen eben so gut auf die Reaction des Gewebes zurückführen, welche sich ja, wie bei den Pocken, auch in unerwünschter Weise geltend machen kann.

Verwendet wird das Licht bei Geschwüren der Haut, bei Akne und vor Allem Furunkulose.

Mit concentrirtem gekühlten Bogenlicht behandelt Finsen den Lupus (s. o. S. 61). Neuerdings hat Winternitz Ekzema dadurch behandelt, dass er es unter einem rothen Tuche der Sonne aussetzte.

Auch bei tieferliegenden lokalen Erkrankungen, bei Neuralgien, bei chronischen Exsudaten, bei chronischen Gelenkentzündungen werden örtliche Bestrahlungen mit Sonnen- und Bogenlicht sowohl, als auch mit Glühlampen angewendet.

Neuerdings haben die Wirkungen besonderer Strahlengattungen, insbesondere der Röntgen- und der Becquerel-Strahlen, die Aufmerksamkeit auf sich gelenkt. Diese Strahlen haben manche Aehnlichkeit mit

den Lichtstrahlen, auch in ihren Wirkungen. So wirken sie auf die photographische Platte, und ebenso als sehr starke Reizmittel, die sogar Necrose erzeugen können, auf die menschliche Haut. Charakteristisch ist dabei, dass diese Wirkung auf die Haut noch später auftritt als beim Lichte; die Wirkung der Becquerelstrahlen äussert sich erst nach Wochen. — Diese Vorgänge verdienen die ernsteste Aufmerksamkeit auch der medicinischen Wissenschaft, sind sie doch geeignet uns neue Aufschlüsse über den Mechanismus derartiger Wirkungen zu geben. Doch befindet sich hier die Wissenschaft, auch die Physik noch im Anfangsstadium der Erforschung ganz neuer und unerwarteter Vorgänge.

Literaturangaben.

I. Photophysik.

Lehrbücher, Nachschlagebücher u. s. w.

Lehrbuch der Physik v. Müller-Pouillet. Bd. 2, 1.
Lehrbuch der Experimentalphysik v. Adolf Wüllner. Bd. IV.
Handbuch der Physik v. Winkelmann. Bd. 2, 1 u. 2.
Lehrbuch der Spectralanalyse v. Dr. Heinr. Kayser.
Die practische Spectralanalyse irdischer Stoffe v. H. W. Vogel.
Handwörterbuch der Chemie v. Ladenburg. Bd. 6. „Licht“.
Die Lehre von der Electricität von Wiedemann. Bd. IV.
Lehrbuch der allgemeinen Chemie v. Ostwald. Bd. II.

Citate.

1. Graham-Otto, Lehrbuch der Chemie. Bd. 1, 1. p. 402f.
2. Derselbe, Ebendaselbst. Bd. 1. 3. p. 669.
3. Ladenburg, Handwörterbuch der Chemie. Bd. 6. p. 443f.
4. Ostwald, Lehrbuch der allgemeinen Chemie. Bd. 2. p. 1015.
5. Robert Mayer, Mechanik der Wärme. Herausgegeben v. Weyrauch.
6. Derselbe, Kleinere Schriften und Briefe. Herausgegeben v. Weyrauch.
7. Kirchhoff, Zur Geschichte der Spectralanalyse. Pogg. Ann. Bd. 118. 1862.
   Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen. Ebendaselbst. Bd. 110. 1860.
8. Kayser, Lehrbuch der Spectralanalyse. p. 139. § 87.
9. Hertz, Untersuchungen über die Ausbreitung der electrischen Kraft.
10. Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik. Bd. 2. 1. p. 340ff.
11. Ganz neuerdings hat Langley noch ein neues bisher unbekanntes Spectralgebiet des Ultraroth entdeckt.
12. Winkelmann, Handbuch der Physik. Bd. 2,2. p. 141.
13. Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik. Bd. 2. 2. p. 472f.
14. Kayser, Lehrbuch der Spectralanalyse. p. 6.
15. Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik. Bd. 2. 1. p. 5f.
16. Winkelmann, Handbuch der Physik. Bd. 2. 2. p. 175.

17. Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik. Bd. 2. 2. p. 397.
18. Kayser, Lehrbuch der Spectralanalyse. p. 70. Cap. VI. Untersuchungsmethoden für das ultrarothe und ultraviolette Licht.
19. H. W. Vogel, Practische Spectralanalyse irdischer Stoffe. I. Th.
20. Graham-Otto, Lehrbuch der Chemie. Bd. 1. 1. p. 441.
21. Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik. Bd. 2. 1. p. 699 ff.
22. Kayser, Lehrbuch der Spectralanalyse. Cap. V.
23. Graham-Otto, Lehrbuch der Chemie. Bd. 1. 3. 8. Kapitel.
24. Derselbe, Ebendaselbst. 7. Kapitel. Beziehungen zwischen der chemischen Natur und den Spectren einfacher und zusammengesetzter Körper.
25. Kayser, Lehrbuch der Spectralanalyse.. p. 122.
26. Ibid. p. 126.
27. Wüllner, Lehrbuch der Experimentalphysik. Bd. IV. p. 466.
28. Winkelmann, Handbuch der Physik. Bd. 2. 2. p. 183.
29. H. W. Vogel, Practische Spectralanalyse irdischer Stoffe.
30. Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik. Bd. 2. 1. p. 355 f.
31. H. W. Vogel, Handbuch der Photographie.
32. Ibidem.
33. Ostwald, Allgemeine Chemie. Bd. 2. p. 1041 ff.
34. Wüllner, Experimentalphysik. Bd. 4.
35. Rumford, Gilbert's Annalen. XLV u. XLVI.
36. Leonh. Weber, Wied. Ann. 20. p. 326. 1883.
37. O. Lummer u. Brodhun, Der Ersatz der Photometerflecken. Ztschr. f. Instrumentenkunde. Bd. 9. 1889.
38. Ritchie, Schweiggers Jahrbuch. Bd. XLVI.
39. Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik. Bd. 2. 1. p. 33.
40. Näheres siehe H. Krüss, Electrotechnische Photometrie, Hartleben, Wien u. Leipzig. 1886.
41. Langley, Proc. Am. Acad. of arts and sc. 16. 1881. Beibl. 5. p. 191.
42. Crookes, Quart. J. of Science. July 1875.
43. Zöllner, Das Skalenphotometer. Leipzig b. Störkmann.
44. Draper, Phil. Mag. (3) 23, 401. 1843.
45. Pogg. Ann. 100, 43, 1837. — Klassiker der exacten Wissenschaften. No. 34 u. 38. v. Ostwald. Leipzig 1892.
46. Pogg. Ann. 117, 531. 1862.
47. H. W. Vogel, Handbuch der Photographie.
48. J. M. Eder, Handbuch der Photographie.
49. Kayser, Lehrbuch der Spectralanalyse.
50. H. W. Vogel, Practische Spectralanalyse irdischer Stoffe.
51. Winkelmann, Handbuch der Physik. Bd. 2. 2. p. 230 ff.
52. H. W. Vogel, Spectralanalyse p. 63 f.
53. H. W. Vogel, Handbuch der Photographie.
54. Derselbe, Spectralanalyse. Abschnitt II. Ueber die Eigenschaften der Spectren.

55. Kaysor, Spoctralanalyso. p. 16.
56. Winkelmann, Handbuch dor Physik. Bd. 2. 2. p. 231.
57. Kaysor, Spoctralanalyso. p. 18.
58. Winkolmann, Handbuch dor Physik. Bd. 2. 2. p. 228.
59. Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik. Bd. 2. 1. p. 370ff.
60. Dorselbo, Lehrbuch der Physik, Ergänzungsband. Lehrbuch der kosmischon Physik. p. 346ff.
61. Kirchhoff und Bunsen, Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen. Pogg. Ann. Bd. 110. 1860.
62. Cornu, Sur les raies telluriques etc. Journ. de l'école polytechn. 15; Etude sur les bandes telluriques. Ann. de chim. et phys. b. sér. 1.
63. Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik. Ergänzungsband. p. 405ff. p. 416ff. u. Bd. 2. 2. p. 653.
64. Ostwald, Lehrbuch der allgemeinen Chemie. Bd. 2. p. 1054.
65. Schlagintweit, Pogg. Ann. LXXXIV. 185.
66. Ostwald, Lehrbuch der allgemeinen Chemie. Bd. 2. p. 1053ff.
67. J. Hann, Handbuch der Klimatologie.
68. Müller-Pouillet, Ergänzungsband. p. 431f.
69. Langley, S. P., Philosophic. Mag. March 1883. Enthält die grundlegenden Untersuchungen dieses Forschers über die verschieden grosse Absorption der verschiedenen Wellenlängen durch die Atmosphäre.
70. Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik. Bd. 2. 1. p. 466.
71. Winkelmann, Handbuch der Physik. Bd. 2. 2. p. 211f.
72. Müller-Pouillet, Lehrbuch d. Physik. Ergänzungsband. p. 437.
73. Ibid. 438.

II. Photochemie.

Lehrbücher, Nachschlagebücher u. s. w.

Ostwald, Lehrbuch der Allgemeinen Chemie.
Graham-Otto, Lehrbuch der Chemie.
Ladenburg, Handwörterbuch der Chemie. Bd. VI.
Fehling-Hell, Neues Handwörterbuch der Chemie. 1886. Bd. IV. p. 113ff. „Licht, chemische Wirkungen". Sehr zahlreiche Literaturnachweise.
Lothar Meyer, Die modernen Theorien der Chemie.
Eder, Ueber die chemischen Wirkungen farbigen Lichtes.
Dersolbe, Handbuch der Photographie.
Vogel, Handbnch der Photographie.

Citate.

1. Ostwald, Lehrbuch der allgemeinen Chemie. Bd. 2. p. 1ff.
2. Ibid. p. 52f.
3. Lothar Meyer, Moderne Theorien der Chemie. p. 390ff.
4. Ostwald, Lehrbuch der allgemeinen Chemie. Bd. 2. p. 1060.
5. Winkelmann, Handbuch der Physik. Bd. 2. 1. p. 502.

6. Graham-Otto, Lehrbuch der Chemie. Bd. 1. 1. p. 559.
7. H. W. Vogel, Handbuch der Photographie.
8. Winkelmann, Handbuch der Physik. Bd. 2. 1. p. 502.
9. Lothar Meyer, Die modernen Theorien der Chemie. p. 537 ff.
10. Antoine Becquerel, Ann. chim. phys. 268. 1843.
11. Ostwald, Lehrbuch der allgemeinen Chemie. Bd. 2. p. 1043.
12. Ibid. p. 1070 ff.
13. Fehling-Hell, Neues Handwörterbuch der Chemie. Bd. IV. p. 124.
14. Ostwald, Lehrbuch der allgemeinen Chemie. p. 1059 f.
15. Ibid. p. 1071 f.
16. H. W. Vogel, Handbuch der Photographie.
17. Ostwald, Lehrbuch der allgemeinen Chemie. 2. Bd. p. 1046.
18. Fehling-Hell, Neues Handwörterbuch der Chemie. Bd. IV. p. 114.
19. Ibid. p. 115.
20. Ibid. p. 113.
21. Ostwald, Lehrbuch der allgemeinen Chemie. Bd. 2. p. 1060.
22. Ibid. p. 1085.
23. Fehling-Hell, Neues Handwörterbuch der Chemie. Bd. IV. p. 124 f.
24. Ibid.
25. Ostwald, Lehrbuch der allgemeinen Chemie. Bd. 2. p. 1079.
26. Fehling-Hell, Neues Handwörterbuch d. Chemie. Bd. IV. 1886. Enthält auch alle Literaturnachweise.
27. J. M. Eder, Handbuch der Photographie. Bd. 1. S. 149 ff.
28. H. W. Vogel, Handbuch der Photographie. Bd. 1.
29. Bunsen u. Roscoe, Pogg. Ann. 96. p. 373; 100. p. 43; 101. p. 275; 108. p. 183.
30. Schönbein, Fortschr. Phys. 1850. p. 522.
31. H. W. Vogel, Handbuch der Photographie, Wirkungen des Lichtes auf Metallverbindungen. p. 73 ff.
32. Eder, Handbuch der Photographie.

III. Photophysiologie.

Lehrbücher, Sammelberichte u. s. w.

W. Pfeffer, Pflanzenphysiologie. Leipzig 1897 u. 1881. (Viele Literaturangaben.)

Julius Sachs, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. Leipzig 1887.

J. Wiesner, Anatomie und Physiologie der Pflanzen. Wien 1890. (Ziemlich viele Literaturangaben.)

Haberlandt, Physiologische Pflanzenanatomie. Leipzig 1890.

Luerssen, Grundzüge der Botanik. Leipzig.

J. Moleschott u. S. Fubini, Ueber den Einfluss des gemischten und farbigen Lichtes auf die Ausscheidung der Kohlensäure bei Thieren. Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre. XII. p. 266.

J. Raum, Der gegenwärtige Stand unserer Kenntnisse über den Einfluss des

Lichtes auf Bakterien und auf den thierischen Organismus. Zeitschrift für Hygiene. Bd. VI. p. 312. 1889.

H. Schickhardt, Ueber die Einwirkung des Sonnenlichtes auf den menschlichen Organismus und auf Mikroorganismen und die hygienische Bedeutung desselben. Friedreich's Blätter für gerichtliche Medicin. 1893. p. 350 ff., 400 ff.

Uffelmann, Die hygienische Bedeutung des Sonneslichtes. Wiener Klinik 1889. Heft 3. p. 85.

F. Schauenberger. Der Einfluss des Lichtes auf den thierischen Organismus. Diss. Berlin.

Hammer, Der Einfluss des Lichtes auf die Haut. Verhandl. der Deutschen dermatologischen Gesellschaft 1892. p. 329.

H. Quincke, Ueber den Einfluss des Lichtes auf den Thierkörper. Pflüger's Archiv. Bd. 57. 1894. p. 123.

Citate.

1. Th. W. Engelmann, Protoplasma und Flimmerbewegungen. Hermann's Handbuch der Physiologie. Bd. I.
2. Derselbe, Ueber Licht als Reiz für Protoplasma. Pflüger's Archiv. Bd. 19. p. 1.
3. Derselbe, Ueber Lichtperception niederster Organismen. Pflüger's Archiv. Bd. 9. p. 387.
4. Derselbe, Ueber Lichtsinn und Einfluss des Lichtes auf die Bewegung niederster Organismen. Pflüger's Archiv. Bd. 30. p. 95.
5. Derselbe, Ueber Licht- und Farbenperception niederster Organismen. Pflüger's Archiv. Bd. 29. 7 u. 8. p. 387 u. Bd. 30. 3 u. 4. p. 95.
6. Strassburger, Wirkungen des Lichtes und der Wärme auf Schwärmsporen. Jena 1878.
7. Stahl, Ueber den Einfluss von Richtung und Stärke der Beleuchtung auf einige Bewegungserscheinungen im Pflanzenreiche. Bot. Zeitg. 1880.
8. H. Buchner, Ueber den Einfluss des Lichtes auf Bakterien. Centralblatt für Bacteriologie. Bd. 11. p. 781. Bd. 12. p. 217.
9. Vergleiche die oben angeführten Botanischen Werke.
10. J. Sachs, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. Leipzig. 1887. p. 650. XXXIII. Vorl. Die Schlafbewegungen der Laub- und Blumenblätter.
11. Ibid. XXXVI. Vorl.
12. Luerssen, Grundzüge der Botanik.
13. Ibid.
14. Sachs, Vorlesungen. XXXII.
15. v. Richter, Chemie der Kohlenstoffverbindungen. Bd. II. p. 470.
16. H. W. Vogel, Practische Spectralanalyse irdischer Stoffe. p. 412.
17. Luerssen, Grundzüge der Botanik.
18. Haberlandt, Physiologische Pflanzenanatomie.
19. W. Pfeffer, Pflanzenphysiologie. Bd. I. Abschnitt II. Die Production organischer Substanz durch Assimilation von Kohlensäure.

20. Sachs, Vorlesungen. p. 298.
21. W. Pfeffer, Pflanzenphysiologie. Bd. 1. p. 332.
22. Ibid. p. 339.
23. Sachs, Arbeiten des botan. Institutes. Würzburg. Bd. III.
24. Wiesner, Ueber d. Einfluss des Lichtes auf d. Transspiration. Sitzungsber. der Kaiserl. Acad. d. Wiss. Bd. 74. Wien 1876.
25. Henslow, Journ. of the Linnean Soc. Bot. XXII. 1886. p. 81 ff.
26. J. Loeb, Ueber künstliche Umwandlung positiv heliotropischer Thiere in negativ heliotropische und umgekehrt. Pflüger's Archiv. Bd. 54. p. 81.
27. Derselbe, Zur Theorie der physiologischen Licht- und Schwerkraftwirkungen. Pflüger's Arch. Bd. 66. 9 u. 10. p. 439.
28. Derselbe, Der Heliotropismus der Thiere und seine Uebereinstimmung mit dem Heliotropismus der Pflanzen. Würzburg. 1890.
29. Derselbe, Ueber den Einfluss des Lichtes auf die Organbildung bei den Thieren. Pflüger's Archiv. 1896. Bd. 63. p. 273—292.
30. L. Hermann, Pflüger's Archiv. Bd. 39. 8 u. 9. p. 414.
31. V. Graber, Fundamentalversuche über die Helligkeits- und Farbenempfindlichkeit augenloser und geblendeter Thiere. Wiener Sitzungsbr. Bd. 87. Abth. I. S. 201.
32. Ueber den Einfluss des Lichtes auf das Körpergewicht der Thiere. Moleschott, Untersuchungen. Bd. 11. p. 488.
33. E. Young, Sur l'influence de différents couleurs du spectre sur le développement des animaux. Compt. rend. Bd. 87 u. Arch. de zool. expérimentale et générale. 1878. Bd. 7. No. 2.
34. N. Uskoff, Einfluss von farbigem Lichte auf das Protoplasma des Thierkörpers. Centralblatt für die medicinischen Wissenschaften. 1879. No. 25.
35. Fubini, Ueber den Einfluss des Lichtes auf die Kohlensäure-Ausscheidung bei den Batrachiern nach Wegnahme der Lunge. Moleschott, Untersuchungen. Bd. 12. 1882. p. 100.
36. Moleschott u. Fubini, Ueber den Einfluss gemischten und farbigen Lichtes auf die Ausscheidung von Kohlensäure bei Thieren. Moleschott, Untersuchungen. Bd. 12. 1881. p. 266.
37. Fubini, Influenza della luce sulla respirazione del tessuto nervoso. Arch. di Bizzozero. 1879. Bd. 3. No. 19. p. 23.
38. L. Graffenberger, Versuche über die Veränderungen, welche der Abschluss des Lichtes in der chemischen Zusammensetzung des thierischen Organismus und dessen N-Umsatz hervorruft. Pflüger's Archiv. 1892. Bd. 53. S. 238.
39. Quincke, Ueber den Einfluss des Lichtes auf den Thierkörper. Pflüger's Archiv. Bd. 57. 1894. p. 130.
40. L. Auerbach, Ueber die Einwirkung des Lichtes auf befruchtete Froscheier. Centralbl. f. d. med. Wissenschaften. No. 23. 1870. p. 357.
41. Schnetzler, De l'influence de la lumière sur le développement des larves de la grenouille. Arch. des Sc. phys. et nat. 1874. Bd. 51. p. 147.

42. Béclard, Note relative de l'influence de la lumière sur les animaux. Compt. rend. 1858. Bd. XLVI. p. 441.
43. Wwendky, Tagebuch der III. Vers. der Ges. russ. Aerzte. 31. Dec. 1888. No. 2. Russisch.
44. Marmé u. Moleschott, Ueber den Einfluss des Lichtes auf die Reizbarkeit der Nerven. Moleschott's Unters. 1857. Bd. I. p. 15.
45. Godneff, Dissertation. Kasan. 1882.
46. J. P. Solucha, Ueber die Durchlässigkeit der Haut für das Volta'sche Bogenlicht. Monatsschr. f. Neurologie u. Psychiatrie. 1900. II. 4.
47. Berthold, Beobachtungen über das quantitative Verhältniss der Nagel- u. Hornbildung bei Menschen. Müller's Arch. 1850. p. 158.
48. Moleschott, Untersuch. Bd. 12. p. 187.
49. P. G. Unna, Ueber das Pigment der Haut. Monatshefte f. Dermatol. IV. 1885. p. 284.
50. Hammer, Der Einfluss des Lichtes auf die Haut. Verh. der deutsch. dermatol. Gesellsch. 1892. p. 329.
51. N. Finsen, Die Einwirkung des Lichtes auf die Haut. Hospitaltid. 4. R. B. p. 721 u. 1069.
52. Paul Bert, Revue scientif. 1878. p. 988.
53. Derselbe, Physiologie comparée de la respiration. Paris 1870. p. 46.
54. Dubois, Sur le mécanisme des fonctions photodermatiques dans le siphon du Photar dactylus. Compt. rend. Bd. 109. p. 233 u. p. 320. 1889.
55. Steinbach, Untersuchungen zur vergleichenden Physiologie der Iris. Arch. f. d. ges. Physiol. 52. 9 u. 10. p. 455. 1892.
56. W. Krause, Die Retina der Fische. Internat. Monatschr. f. Anat. und Physiol. V. 4. p. 132. 1888.
57. Gysi u. Luchsinger, Centralbl. f. med. Wissensch. 1879.
58. Engelmann, Ueber Bewegungen der Zapfen u. Pigmentzellen der Netzhaut unter dem Einflusse des Lichtes. Pflüger's Arch. Bd. 35. p. 498.
59. Kühne, Physiologische Optik. Hermann's Handbuch der Physiologie. Bd. 3. p. 261.
60. Widmak, Ueber den Einfluss der ultravioletten Strahlen auf die vorderen Medien des Auges. Deutsche med. Wochenschr. XVIII. 17. 1892.
61. Engelmann, Prüfung der Diathermanität einiger Medien. Pflüger's Arch. 30. 125.
62. R. Rollet, Blut und Blutbewegung. Hermann's Handbuch der Physiologie. Bd. IV.
63. D'Arsonval, Photographie des spectres d'absorption de l'hémoglobine. Arch. de Physiol. XXII. 2. p. 340. 1890.
64. G. Tizzoni u. M. Fileti, Wirkungen des Lichtes auf die Entstehung des Hämoglobins. Atti de l'Accad. dei Lincei [3]. 4. p. 168.
65. Gyllencreutz, Upsala, läkare-ferenings forhandl. Bd. XIX.
66. v. Platen, Ueber den Einfluss des Auges auf den Stoffwechsel. Pflüger's Arch. 1875. Bd. XI. p. 272.

67. J. Moleschott u. Fubini, Ueber den Einfluss des gemischten und farbigen Lichtes auf die Ausscheidung von Kohlensäure bei Thieren. Moleschott's Unters. XII. p. 266.
68. Fubini, Ueber den Einfluss des Lichtes auf das Körpergewicht der Thiere.
69. Aducco, Wirkung des Lichtes auf die Lebensdauer. Communicazione all' accad. di Torino.
70. Hoppe-Seyler, Physiologische Chemie. 1881. p. 951.
71. L. Graffenberger, Pflüger's Arch. 1892. Bd. 53. S. 238.
72. Ch. Féré, Degénéresance et criminalité. 1888.

IV. Phototherapie.

Lehrbücher.

Es sind in den letzten Jahren einige Bücher über Phototherapie erschienen. Der Werth derselben ist sehr verschieden, theils sind sie in streng wissenschaftlichem Sinne gehalten, theils aber lassen sie die Objectivität vermissen. Da für eine kritische Würdigung dieser Schriften hier nicht der Platz ist, hat Verf. es vorgezogen auch kein Verzeichniss derselben zu geben, sondern auf die Kataloge der Buchhändler zu verweisen.

Sammelberichte u. s. w.

Uffelmann, Die hygienische Bedeutung des Sonnenlichtes. Wiener Klinik. 1889. Heft 3. p. 85.
Schickhardt, Ueber die Einwirkungen des Sonnenlichtes auf den menschlichen Organismus und auf Mikroorganismen und die hygienische Bedeutung desselben. Friedreich's Blätter für ger. Med. 1893. p. 350 ff. u. 400 ff.
H. Quincke, Ueber den Einfluss des Lichtes auf den Thierkörper. Pflüger's Arch. Bd. 57. 1894. p. 123.
Hammer, Der Einfluss des Lichtes auf die Haut. Verhandl. der Deutschen dermatol. Ges. 1892. p. 329.
J. Ruhemann, Witterung, Sonnenschein und Infectionskrankheiten. Ztschr. f. diätet. u. physik. Therap. Bd. IV.

Citate.

1. Schickhardt, Friedreich's Blätter f. ger. Med. 1893. p. 405.
2. Buchner, Centralbl. f. Bacteriologie. XI. 1892. p. 781 u. XII. 1893. p. 217.
3. Geissler, Centralbl. f. Bakteriol. XI. p. 161.
4. Ruhemann, Zeitschr. f. diät. u. phys. Therap. Bd. IV.
5. Buchner, Ueber den Einfluss des Lichtes auf Bakterien und über Selbstreinigung der Flüsse. Arch. f. Hyg. XVIII. p. 179. 1893.
6. J. Wittlin, Ueber die Einwirkung des Sonnenlichtes auf den Keimgehalt des Strassenstaubes. Wiener klin. Wochenschr. IX. 52. 1896.

7. Rubner, Ueber Sonnenstrahlung. Arch. f. Hyg. XX. 4. p. 309. 1894.
8. v. Esmarch, Ueber Sonnendesinfection. Ztschr. f. Hyg. u. Infectionskrankh. XVI. 2. p. 257. 1890.
9. H. Lahmann, Febris erythematosa nach Luft- u. Sonnenbädern. Allgem. med. Centr.-Ztg. No. 25. 1897.
10. Hammer, Einfluss des Lichtes auf die Haut. Verh. der deutsch. dermat. Ges. 1892. 329.
11. N. Finsen, Die Einwirkung des Lichtes auf die Haut. Hospitaltidende. 4. R. B. p. 722 u. 1069.
12. J. Härdén, Ueber d. Actinität des electrisch. Lichtes. Zeitschr. f. Electrotherap. u. ärztl. Electrotechnik. 1901. No. 10.
13. Widmack, Ueber den Einfluss der ultravioletten Strahlen auf die vorder. Medien des Auges. Deutsche med. Wochenschr. XVIII. 17. 1892.
14. B. Lubinski, Ueber Ophthalmia photoelectrica. Wiener medic. Presse. XXX. 4. 1889.
15. Georges Martin, Pathogénie des ophthalmies electriques. Bordeaux. Ann. d'Oculist. C. [13. sér. 10.]. 1 u. 2. p. 25. Juli, Aug. 1888.
16. W. Kruse, Ueber die hygienische Bedeutung des Lichtes. Zeitschr. für Hyg. XIX. 1895. p. 316.
17. Gyllencreutz, Upsala läkare-ferenings forhandl. Bd. XIX.
17a. Quincke, Pflüger's Arch. Bd. 57. 1899. p. 123.
18. Persönliche Mittheilung von Herrn Prof. Dr. Dove in Jena.
19. Uffelmann, Die hygienische Bedeutung des Sonnenlichtes. Wiener Klinik. 1889. Heft 3. p. 85.
20. Schickhardt, Ueber die Einwirkungen des Sonnenlichtes und die hygienische Bedeutung desselben. Friedreich's Blätter. 1893.
21. H. W. Vogel, Handbuch der Photographie.
22. Boubnoff, Ueber die Permeabilitätsverhältnisse der Kleidungsstoffe zum chemisch wirkenden Sonnenstrahl. Arch. f. Hyg. Bd. X. 1890.
23. Bowler, Monatshefte f. Dermatol. 1894. Bd. 18. p. 16.
24. M. Schreber, Jahrbuch für Kinderheilkunde. 1857. p. 169.
25. Finsen, Die medicinische Anwendung der concentrirten chemischen Lichtstrahlen. Kopenhagen.
26. G. Bang, Meddelelser fra Finsens mediciniske Lysinstitute. Hosp. Tid. 4. R. VI. 30. p. 792. 1898.
27. Vortrag zur 22. Vers. der Balneol. Ges. 1901.
28. Abel, Dr. Finsens behandling of skittkopper medeler uteslutande af ljsets kemiske strålor. Eira XXII. 2. p. 46. 1898.
29. Th. Veiel, Vierteljahrsschr. f. Dermatologie u. Syphilis. XIV. p. 1113. 1887.
30. Hammond, The Sanitarian. 1873. p. 58.
31. Raymond, Med. Rec. Apr. 14. p. 412. Ref. Virchow-Hirsch. 1883.

Druck von L. Schumacher in Berlin.